5.影像獲取：

爲免影像抖動，曝光時間應予以需縮短，光圈值在考量景深下可以放大爲 5.6，並增加 Duncan 控制軟體增益值，抖動率約可降至原測試條件的 30 分之一。

(四)其他注意事項

1.地空聯繫：

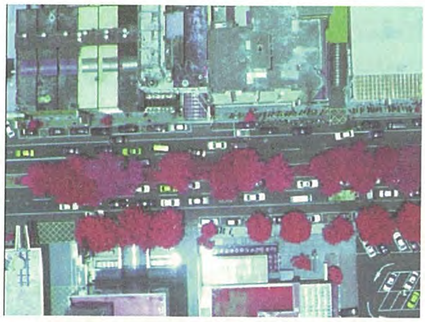
機艙成員皆須戴掛減噪耳機與座艙通話器，若需使用行動電話必須配合免持聽筒耳機，再帶上座艙之大型減噪耳機。若要達到對空導引的要求，以 VHF144 民用頻道聯繫 Duncan 操作人員與地面調查員爲較有效方式。

2.保險估計：

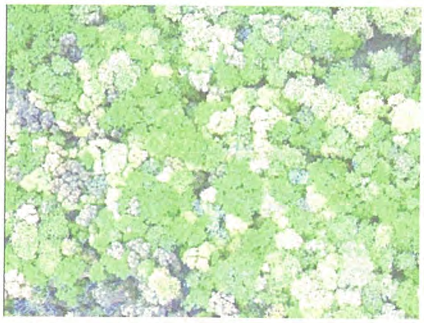
租用航空器，航空公司收費中已包含機載人員人身保險(工作人員共四人)，如實施時由實施計畫對參與人員加保，可達到重複保險。

(五)影像資料及合併

本系統所獲取之影像因包含近紅外光波段，可供計算 NDVI 指標，對作物的敏感度高於一般可見光影像。加以航高較低，空間解析力較佳，對地物的判釋能力較強。圖 6 顯示以本系統拍攝的都市、灌木林、高爾夫球場、及稻田等不同土地影像，其分辨力高於傳統航照。在製圖上，使用直昇機空攝獲取之影像因缺乏足分的位置及姿態資訊，無法如傳統航照進行正射糾正及較精密的鑲嵌，但亦可以利用已有土地坵塊或 1/5000 基本圖，進行簡單的對地糾正後即可合併爲目標區影像。圖 7 爲新社鄉大南種苗場的合併成果，配合已有地籍圖，即可對各土地進行屬性更新。

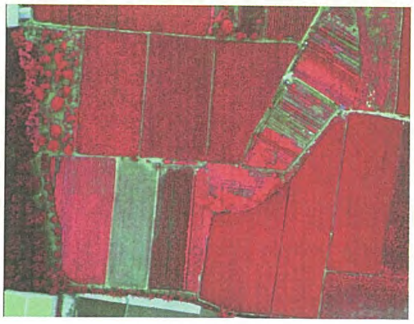


a. 都市



b. 灌木林

c. 高爾夫球場



D.水稻田

圖 6. 機載系統獲取之各不同地物影像。

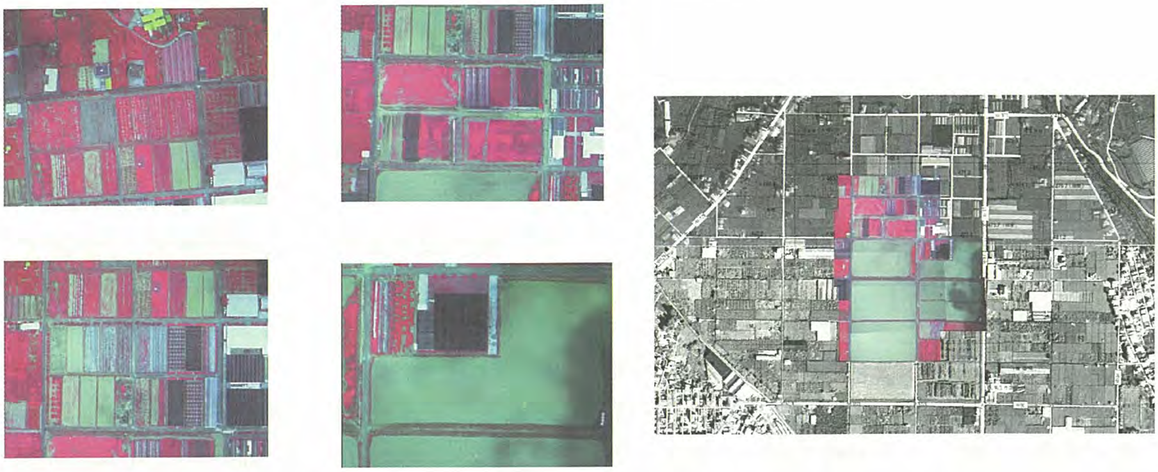


圖 7. 原始及對地糾正後之合併影像。

四、結語

農作物受天然災害之損害率可以植株凋萎、葉片受損率、植株倒伏或彎曲率、植株死亡率及減產率等五項客觀指標判斷分成四種不同程度；其中葉片受損率及植株死亡率可引起作物光譜產生較明顯差異。本研究使用高光譜輻射儀及多光譜成像儀施測作物受淹水損害後的光譜反應，實驗數據亦顯示由近紅外光及紅光所計算的正規化差異植生指數(NDVI)兩者之間有關連性，損害率愈高，NDVI 愈低。但必須考慮作物受淹水後會有自行調適機制，如條件回復，淹水不一定會產生損害。作物受淹水災害在一定時間內(如 1~2 天)，若暴雨停止及排水得宜，作物仍可依賴其自行調適機制回復正常生長狀態。但長至 48 小時的淹水，將對作物產生不可回逆轉的傷害，凋萎開始後，再行排水亦無法恢復正常，反應在光譜上，即為 NDVI 值的急速下降。

在攝像系統方面，本計畫採用輕型直昇機以為機載測系統載具，具有低設備維護與迅速動員就位的優點，雖然其特性不適合獲取高精度航照或以掃描儀攝像，但作為輔助攝影工作已合一般要求。在系統實地測試中發現，直昇機航拍任務雖然可配合作業彈性施作，但行前規劃的良窳仍是決定施測成果的關鍵因素，例如航線規劃、地面狀況瞭解、裝備整備等項，都需要切實執行。而為工作流暢，導航工作除由空中作業組利用 GPS 儀器進行外，地空聯繫及導引或導測亦可增加作業速度及準度。本系統所獲取之影像因包含近紅外光波段，可供計算 NDVI 指標，對作物的敏感度高於一般可見光影像，亦可作簡單對地糾正後合併為區域性影像。目前本研究與農委會中部辦公室一科協調，在本年度發生淹水災害時，即進行配合性的空中攝影作業，以求對受災面積、受災程度之研判提供有用的資訊。

五、誌謝

本研究承行政院農業委員會農糧處 91 農科-5.1.2-糧-Z1(5)計畫經費支援，深致謝忱。

六、引用文獻

陳大科、徐偉城等五人。2001。遙測與資訊技術應用於精準農業先驅計畫-農作生長與農災監測。工研院能資所第 063-90-W003 號報告。101pp.

黃涵。1985。"莧菜之研究"。夏季蔬菜生產改進專輯。農委會/桃園農業改良場合輯，淑馨出版社，台北。

農業委員會。1997。 園藝作物天然災害損害率客觀指標。臺灣省政府農林廳編印，南投縣。135pp.

蕭國鑫、徐偉城、廖子毅、吳啓南。2001。不同遙測感測器資料應用於水稻監測之探討。p.1-8。第 20 屆測量學術及應用研討會。

劉治中、廖子毅、陳大科。2002。機載高解析遙測影像輔助農作災害偵測之研究。工研院能資所第 063-91-056701 號報告。45pp.

Prasad Ed., M.N.V. 1997. Plant Ecophysiology: Chapter 4: Flooding. John Wiley &Sons, New York.

Peters, A.J., S.C. Griffin, A. Vina and L. Ji. 2000. Use of Remotely Sensed Data for Assessing Crop Hail Damage. Photogram. Eng. Remote Sens. 66(11):1349-1355.

A Multispectral Imaging System for Assessing Crop Inundant Damage

Chi-chnung Lau*, Tzu-yi Liao and Dah-ko Chen
Geospacial Information Technology Lab., Energy & Resources Laboratories,
Industrial Technology Research Institute, Chutung, Hsinchu, Taiwan
E-mail: Cclau@itri.org.tw

ABSTRACT

The study used a helicopter-mounted multispectral image system to establish an auxiliary tool for assessing crop inundant damage. A series of flooding test were applied to three types of plants to find the spectrum information of plants under both health and injured conditions. These data are the base to build database for ranking disaster level. The study also established a helicopter-mounted system to assess multispectral crop image above ground. Comparing with other data source, the system provides fast data acquisition ability. Feasibility test of the system including instrument integration, data acquisition procedure, image processing, and image analysis were carried out in the study.

Key words： Crop inundant damage, Multispectral imagery, Helicopter-mounted image system.

農業氣象災害調查與防護技術
利用光譜遙測技術監測莧菜淹水狀態
79-92, 2003

利用光譜遙測技術監測莧菜淹水狀態

楊純明
行政院農業委員會農業試驗所農藝組
E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

摘要 ---------- 80

一、前言 ---------- 80

二、由熱紅外線光譜影像遙測評估莧菜淹水狀態 ---------- 81

三、由輻射光譜遙測評估莧菜淹水狀態 ---------- 86

四、結語 ---------- 89

五、誌謝 ---------- 90

六、引用文獻 ---------- 90

ABSTRACT ---------- 92

利用光譜遙測技術監測莧菜淹水狀態

楊純明
行政院農業委員會農業試驗所農藝組
E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

摘要

本研究以輻射光譜及熱紅外線光譜影像說明光譜遙測技術評估農作物生長狀態的應用及限制，及其在監測莧菜淹水狀態上的利用。並結語只要作物植被的色澤、組織結構、組成分及生理代謝的表現影響其反射光譜特性時，無論係自身的生育進展或環境造成，均將反應在作物植被反射光譜的質與量變化，皆可利用輻射光譜遙測予以偵(檢)測。惟在限制因子的排除與拿捏，結果的解釋與應用上，仍仰賴研究人員的專業素養和具體實踐。

關鍵詞： 光譜遙測技術、莧菜、生產監測、淹水狀態。

一、前言

(一)利用光譜遙測技術評估農作物的生長狀態

田間自然狀況下農作物的生長，由於環境與土壤隨時空的改變，加上栽培管理條件的不同，以及生育的進展等因素，將產生空間的變異分佈。對廣大的農田面積而言，將可能因爲調查人力的不足，或時效上的要求，而無法在短期間完成對整個農田的監測與現況評估，只能以慣行方法進行栽培管理。於是，當逆境或災害發生的時候，或者臨時或緊急性的需要務必取得農作物生長狀態現況資訊時，將可能衍生力有未逮的遺憾。再者，由於未能對農田進行經常性的完整監測，僅能憑藉經驗及依據傳統的方法管理農田，相當程度需要”看天吃飯”。但在二十一世紀的精準農業發展方向，在在都需要針對農場各網格點(區)進行監測及必要的精準管理，若未能瞭解農作物現行的生長表現，即難以依照需求給予因應而適時的對應處理，如此將可能產生多餘資源浪費或投入不足的缺失。

爲配合廣大農田面積的觀測與監測，在精準農業體系則採行不同大氣尺度平台及功能的遙測技術(remote sensing technology, RS)，來擷取特定的資訊。這些特定資訊所顯示的空間變異分佈，展現出農田各地點農作物生長狀態的差異，也提供精準農業體系之決策系統憑以做出因應處理決策。遙測技術因其利用的電磁輻射(electromagnetic radiation)波段的不同，而有各種的分類與技術。本文將以紫外光至中紅外光範圍的輻射光譜(radiometric spectrum)及熱(遠)紅外光波段的熱紅外線光譜影像(thermal infrared imaging spectrum)等二項，介紹及說明如何利用光譜遙測技術監測莧菜淹水狀態，俾識者能進一步瞭解光譜遙測技術的應用，如何藉由光譜遙測資訊評估情境的變化做出合理的判斷。

(二)莧菜的栽培問題

近年來隨著生活水準的提高，民眾極爲注重養生保健，對蔬菜中礦物質、維生素及抗氧化物質的攝取需求大爲增加。其中的葉菜類是臺灣地區民眾的主要蔬菜來源，依照 2001 年的農業統計年報資料，臺灣地區的蔬菜生產量從 1992 年的約 287 萬噸增加至 2001 年的約 305 萬噸，而一般的短期蔬菜(以葉菜類爲大宗)即占 73%。莧菜(*Amaranthus mangostanus* L. 或稱 *A. tricolor* L.)是主要葉菜類蔬菜之一，俗稱莕菜、荇菜或莕菜不等，爲莧屬一年生 C_4 型植物，臺灣地區周年皆可栽培。現行莧菜栽培有所謂硝酸鹽含量過高及氣象災害造成嚴重災情等二大問題，前者需要依靠良好的氮肥管理做法，維持植體內適當的氮素含量以避免刺激或促進生成超量硝酸鹽；後者則有賴氣象災害的預警、防護及復耕(育)作業的相互配合。爲求復耕的及早啓動和相關措施的擬定，又必須借助於非破壞性的快速而大量檢測方法，協助解決莧菜的栽培問題。

光譜遙測技術(spectral remote sensing technique)係以非接觸式的物理感測方法偵測農作物植被的反射與放射光譜，經預建的光譜遙測模式或系統流程解讀出當時的遙測資訊，評估出田間農作物生育表現、營養狀態、病蟲害感染、或土壤肥力等現況。由於具有此等快速、非接觸、非破壞與彈性量測面積等諸多特點及特殊功能，光譜遙測技術可被利用來經營與管理農作物的常態栽培及遭受逆境、災害衝擊後的復建等工作，而且容許即時或及時的評估以採行適當因應對策(Barrett and Curtis, 1982)。本文即以莧菜淹水狀態爲例加以說明，研究採用的品種爲生長勢強旺的臺農一號，其歸屬於青莧(或稱白莧)，藉由植被反射輻射光譜與熱紅外線光譜影像量測，配以生長性狀與淹水危害調查，做出綜合分析和評估。

二、由熱紅外線光譜影像遙測評估莧菜淹水狀態

許多種類的植物生長皆屬於溫感性(thermoperiodic)，通常在溫暖的白天獲得較快速的生長，而在冷涼的夜間生長緩慢或停滯，這同時也反應出環境因子對生長的干擾(Berry and Raison, 1981; Ellis *et al.*, 1992; Hodges, 1991; Johnson and Thornley, 1985)。另一方面當農作物因著生理代謝、周遭氣溫改變、或環境變異(如缺水、淹水、病蟲害感染、光照等)的作用時，經常會出現植體溫度的變化。因爲這些內在或外在因子可能影響根系對水分的吸收與轉運，促進抑或降低常態蒸散作用(transpiration)的進行，造成植體水分平衡的失調而引起體溫的升降。所以，可以藉由對農作物植被溫度變化的長期追蹤，偵測從常態至逆境(災害)發生的轉折過程，更可以因此探索逆境的進展及植體的相對反應，並管理植體的水分狀態(Hatfield *et al.*, 1984; Hatfield, 1990; Jackson *et al.*, 1977; Throssell *et al.*, 1987; Thunnissen and Nieuwenhuis, 1990).

農作物植體溫度的取得，可以利用溫度計(thermometer)(酒精式、水銀式及熱電偶式、熱電阻式等)接觸式的量測動態溫度(dynamic temperature)，或以熱紅外線輻射儀(thermal infrared radiometer)及熱紅外線輻射影像系統(thermal infrared imaging system)等量測輻射溫度 (radiant temperature or radiometric temperature)。輻射溫度的量測即屬於熱紅外線光譜遙測，依需要偵測特定的熱紅外線波段區間(如 3-5 μm、3-14 μm、8-12 μm 等)，其中熱紅外線輻射儀多以量測區間的總輻射量或輻射溫度，以單點測值表示；熱紅外線輻射影像系統則展示視窗的二維空間光輻射或輻射溫度分佈，又稱熱紅外線影像或熱像(thermogram or thermography)。輻測溫度的感測器可放置於不

同遙測平台，偵測不等農田面積大小。

二維熱像具有水平及垂直面向的若干像元測點，視硬體的解析度而定，從數百至數萬或數十萬不等。惟輻射溫度係偵測熱紅外線波段的光輻射量轉換成溫度讀值，因此將受到標的物至感測器之間的距離(空氣層)及當時的氣象狀況影響，也因爲標的物表層含水狀態(water status of the surface)而異。由熱紅外線輻射影像系統量測農作物的植被，可分別量取植被的水平及垂直剖面輻射溫度，配合環境因子的測定，可以做相關廣泛的溫度分析，亦可探討植被表層的能量平衡問題(Taconet *et al.*, 1995)。

(一)熱紅外線光譜影像遙測的應用及限制

無論是輻射光譜或熱紅外線光譜影像，均可應用於(1)農作物種類之判別、(2)農作物生育之估測與預測、(3)農作物逆境及與環境關係之評估、及(4)農作物產量之估測與預測等四方向，也居於(1)假設植被放射率是固定的，趨於1；(2)假設植被放射各波長之放射率均趨於 1；及(3)假設晴朗天空之大氣穿透率大致趨於 1 等 3 項假設(assumptions)來進行光譜量測，如此以簡化許多客觀環境的干擾及計算過程的複雜，而獲得量化數據並進行定量分析。

由於田間自然狀況下偵測到的農作物光譜，包括農作物本身的放射輻射及入射光反射輻射，因而無可避免將受到太陽光及周遭物體光源的干擾。高於農作物植體動態溫度的太陽入射光及人工光源，將使得植被輻射溫度高於其動態溫度。反之，農作物受到周遭物體的遮陰或低於植體動態溫度的光輻射照射時，可能使得植被輻射溫度低於其動態溫度。此外，當逆境或災害發生時，外界因子所造成生理代謝的失調、外觀形態的改變、顏色與光澤的異常、或水分狀態的失衡等現象，將可能影響植被表面性質而牽動植被輻射溫度的定性變化，也可能影響入射光輻射量的反射與植體的吸收而引起植被輻射溫度的定量分佈。這些客觀因素加上如操作人員專業程度及感測器條件與設定等主觀因素，或將產生虛增或虛減的植被輻射溫度，成爲應用熱紅外線光譜影像遙測的限制。

(二)熱紅外線光譜影像遙測莧菜淹水狀態

農作物缺水現象的發生，一般係認爲作物根系對水分的吸收無法滿足蒸散消耗，或土壤中的水分含量不足以提供作物生長或生存的需求時引起。當缺少足量的水分可以經由蒸散作用(transpiration)將植體自身產生及外在附加的熱能帶出植體外時，邏輯上將因植體熱量未能正常逸釋而導致體溫的升高。如圖 1 的缺水稻株，隨著缺水程度的增加而加大植被輻射溫度的上升幅度。在此一案例中，植被的最低、最高及平均溫度均有升高趨勢，植被輻射溫度的分佈有往高溫頻率增加的現象。

相反的，當農作物因降水集中、長期降水或排水不良等原因產生淹水狀態時，亦將因爲根系無法正常運作而影響其正常生長的進行。淹水時間達到一定程度，將形成作物根系周圍的缺氧現象，接著引起一連串生理代謝及形態上的變化。情節輕微者，作物會試圖延長根系及伸長莖稈來接觸新的通氣空間，或增生氣根、多次根來擴張氣體的交換。在持續淹水下，則將關閉葉片氣孔以減少維持消耗及生長進行，可使原有莖葉凋萎老化而出現生長停滯或水傷徵狀。危害顯著者，將因根系腐爛及生理代謝無以爲繼等而顯示如脫水枯萎徵狀，終至植株死亡。

本研究將盆栽(1.1 m 長、1.0 寬、0.6 m 高)莧菜植株栽培至預定採收前 10 天，開始施予不等淹水天數處理，從淹水 9 天減至淹水 1 天，且以不淹水之正常栽培爲對照組，計有 10 種處理。圖 2 爲預定採收日量測的部分熱紅外線光譜影像及可見光影像，包括對照組(CK)、淹水 1 天、淹水 3 天、淹水 5 天、淹水

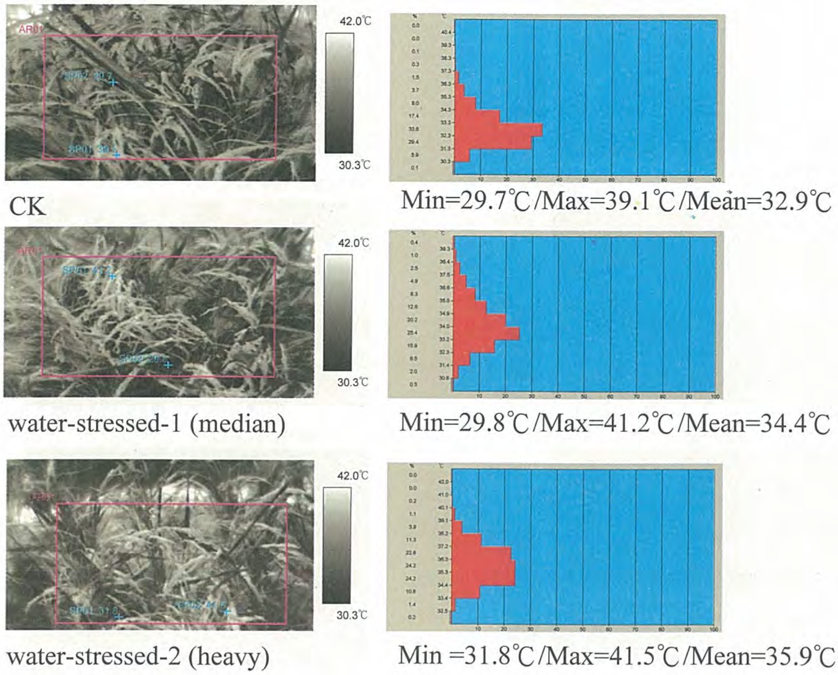


圖 1. 缺水稻株植被熱紅外線影像及輻射溫度分佈之改變。

9 天及去除莧菜的對照組裸露土等。量測當時背景溫度介於 26-30.4℃之間，瞬時氣溫在 26.5-32.1℃之間，對照組視窗平均輻射溫度爲 29.0℃(背景溫度 29.4℃、氣溫 31.0℃)，淹水 1 天及 3 天的視窗標的區平均輻射溫度分別爲 28.5℃及 26.5℃，顯示淹水引起降溫趨勢。淹水 5 天已出現植株的顯著凋萎及死亡，視窗標的區平均輻射溫度爲 27.8℃，顯示受到裸露土溫的影響。淹水 9 天之莧菜植株多已死亡，水分飽和土壤視窗的平均輻射溫度爲 23.3℃，遠低於對照組裸露土視窗平均輻射溫度 30.6℃。這驗證了含水飽和的土壤具有較大的熱容量及較低的光輻射反射率，使其土壤輻射溫度低於含水量未達飽和的常態裸露土壤的輻射溫度。

由此可知，正常生長的莧菜植被輻射溫度低於裸露的土壤輻射溫度及氣溫，顯示莧菜植株維持既有的蒸散功能，可以將體溫降低至周遭溫度以下。淹水將可能因提高植體水分含量及冷卻土壤溫度，降低莧菜植體的輻射溫度。然而在溫暖天氣下淹水超過 4 天，將使莧菜出現顯著的淹水危害。在淹水危害導致莧菜植株萎凋死亡時，植被的輻射溫度將受到土壤溫度干擾，此時不宜再以輻射溫度評估莧菜的淹水狀態。

淹水除了使得莧菜植被平均輻射溫度下降，也可能降低植被輻射溫度的最低值、最高值及溫度頻率的分佈，端視淹水天數(程度)而定。如圖 2 所示，正常生長之莧菜植被輻射溫度平均值 29.0℃、最低值 26.1℃、最大值氣溫 35.8℃，淹水 3 天之莧菜植被輻射溫度平均值 26.5℃、最低值 22.0℃、最大值氣溫 30.3℃，，無論平均值、最小值及最大值均因淹水而降低。兩處理之輻射溫度的頻率分佈也不相同，淹水 3 天使得植被輻射溫度的分佈往低溫移動，偏向較低溫分佈(圖 3)。

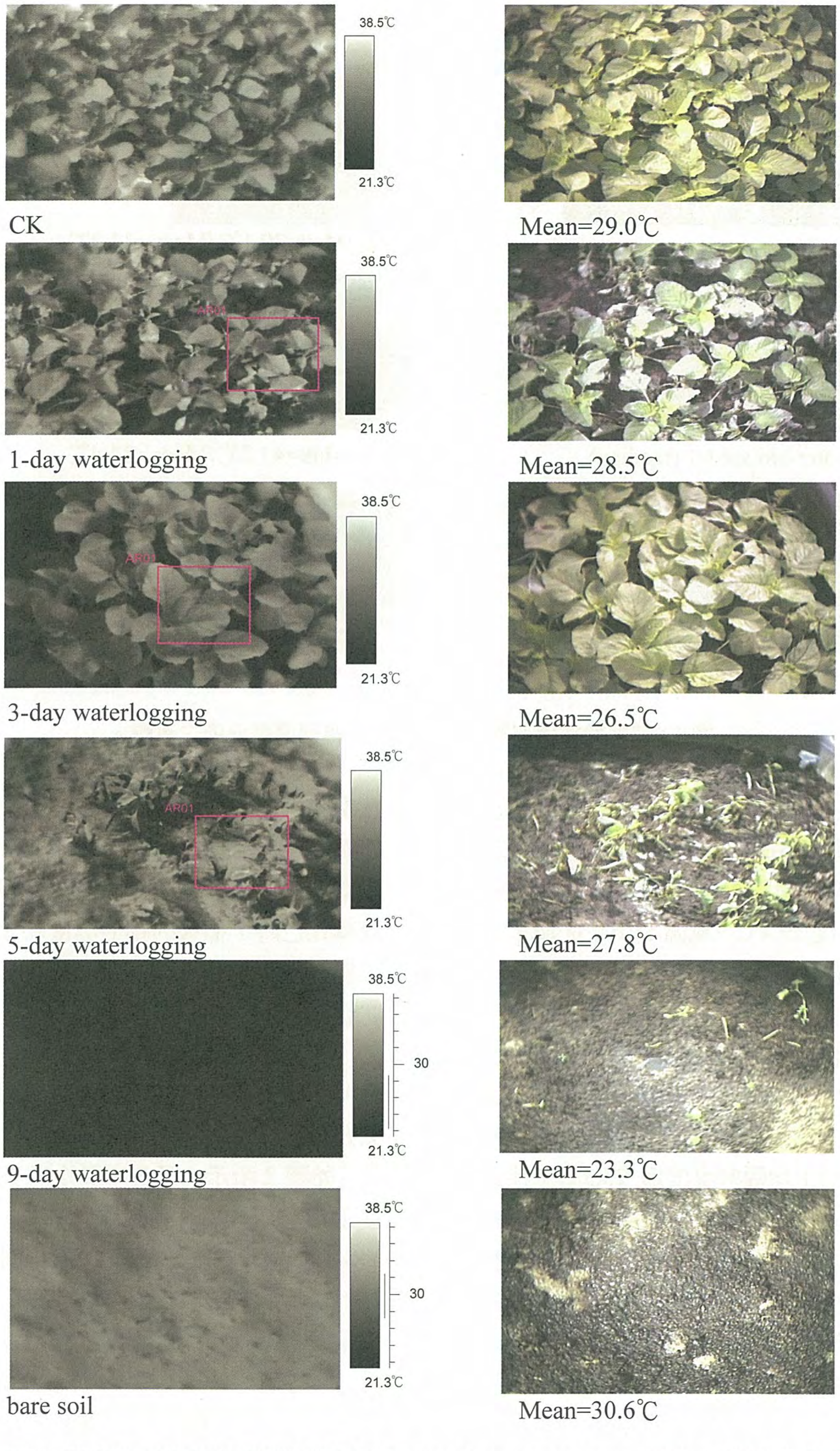
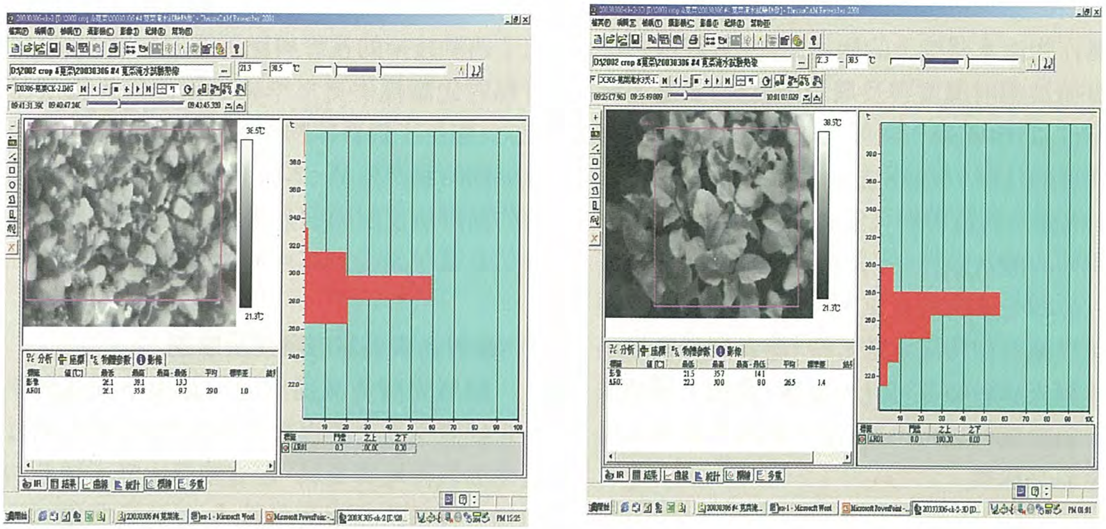


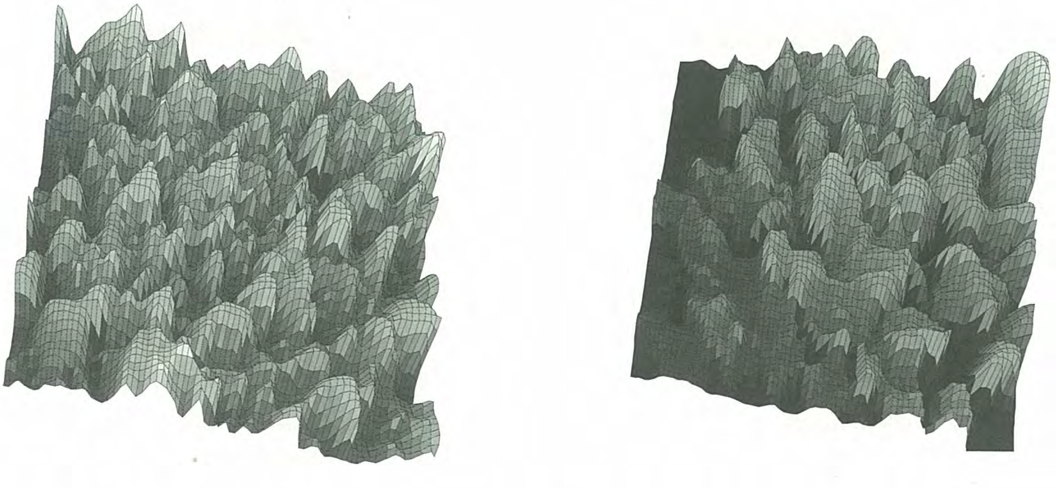
圖 2. 不等淹水程度(天數)造成莧菜(*Amaranthus mangostanus*, cultivar TNG 1)危害及植被輻射溫度的改變(2003/03/06)。



(A)正常生長之莧菜植被輻射溫度；　　(B)淹水 3 天之莧菜植被輻射溫度。

圖 3. 淹水 3 天造成莧菜(*Amaranthus mangostanus*, cultivar TNG 1)**植被輻射溫度的改變**(2003/03/06)。

藉由影像分析軟體的處理，尚可將莧菜植被輻射溫度分佈以三維空間方式呈現，如此可以更清楚的顯示植被溫度的空間分佈態勢及梯度階層，土壤背景也一覽無遺。由圖 4 正常生長及淹水 3 天之莧菜植被輻射溫度的三維空間分佈，彰顯出植被視窗相對位置的溫度差異及變化，並提供絕佳的視覺效果。再由臨界溫度的設定，亦可以大致分別植被與土壤區間，有助於各類別涵蓋面積的估測。



(A)正常生長之莧菜植被輻射溫度；　　(B)淹水 3 天之莧菜植被輻射溫度。

圖 4. 正常生長及淹水 3 天之莧菜(*Amaranthus mangostanus*, cultivar TNG 1)**被輻射溫度之三維空間分佈**(2003/03/06)。

由此結果，可看出熱紅外線光譜影像在辨識農作物淹水狀態上的應用潛力，倘若進一步計算植被輻射溫度與及周遭溫度(如氣溫、背景溫度)的梯度差，則可以在相對環境下做淹水程度的比較，也適用於時間序列的追蹤與監測。惟淹水的危害與天氣狀況具有極大關係，在相同的淹水條件，強光高溫環境造成的危害遠大於弱光低溫的天氣。因此，欲利用植被輻射溫度區分作物淹水危害時，應當同時輔以熱紅外線光譜影像及可見光影像，或加上現地調查及氣象資料綜合研判，避免顧此失彼及未盡窺全貌之疏誤。

三、由輻射光譜遙測評估莧菜淹水狀態

輻射光譜遙測同樣可應用於農作物生產管理流程，評估農作物的生長狀態。惟在運用輻射光譜遙測之前，宜先熟知農作物植被的輻射光譜性質，同時釐清植被外觀物理徵狀有關的光譜特徵波段及其邏輯意義，再建立合適的光譜遙測模式於後續的評估用途(Gates *et al*., 1965; Gausman *et al*., 1981; Rouse *et al*., 1974; Tucker *et al*., 1979; Wiegand *et al*., 1991; Yang and Su, 1997)。早期運轉的商用資源衛星多以寬頻感測器爲主，依照各波段與農作物的物理及化學特性的直接、間接關係，發展出光譜指數(spectral index)或稱植被指數(vegetation index)來組合邏輯運算式賦予估測與追蹤的功能，通常選用 1-3 個特徵波段 (Anderson and Hanson, 1992; Baret and Guyot, 1991; Elvidge and Chen, 1995; Gilabert *et al*., 1996; Huete, 1988; Wiegand *et al*., 1990)。如選用紅光及近紅外光波段的 NDVI(Rouse *et al*., 1974)及SAVI(soil-adjusted vegetation index，土壤校正植被指數)(Huete, 1988)即是，因其具有降低光源背景干擾的作用及計算簡易特色而廣受歡迎。近幾年高解析資源衛星資料也邁入商業化，其光譜及幾何解析力均大幅增高，更加開拓了遙測技術的視野與應用層面。也因爲高解析輻射光譜提供更爲準確與精確的光譜解讀能力，強化了對農作物生長狀態的現況估測及長期間的狀況監測，本研究乃以近地面莧菜植被的高解析反射輻射光譜，來探討淹水狀態及評估莧菜生長受到淹水的負面影響。

(一)輻射光譜遙測的應用及限制

輻射光譜遙測固然能夠藉由不同遙測平台來偵測涵蓋不等面積大小的農田，但必須於近地面取得地真資料，建立未受大氣干擾及勿須幾何校正的光譜遙測模式。以此爲基礎來檢驗及改正高大氣尺度的航空及太空遙測平台的遙測資訊及遙測模式，因爲感測器距離被測標的物愈長、愈高或愈遠，輻射光譜及影像的扭曲就愈嚴重，必須對大氣干擾、經緯度對位、幾何偏歪、輻射光源及機件設定等逐一校正。其次，對農作物而言，不同的狀況卻可能造成相同或類似的植被外觀徵狀，所以常需要配合地面的查驗核對，由地面的取樣調查確認其眞僞虛實。又農作物在遭受逆境或災害作用的初期，雖然其內在影響已經開始，卻不易由外觀徵狀的輻射光譜遙測早期診斷。反之，當逆境或災害已帶來嚴重災情時，輻射光譜遙測卻不能將超過飽和臨界點的損害程度再予分級，提供更爲細緻的分類。

近地面進行的光譜遙測，通常係以人爲方式製造特定目標的不同等級狀況，由觀測級距造成的光譜差異及相關的光譜特徵波段變化，來建立光譜遙測模式芻型。再經過多年期資料的比較、驗證與修正，增加模式對環境與特定目標的適用性，提高模式的準確度與精確度，同時具以綜合評估模式的實用性和經濟效益。由於高解析輻射光譜及影像衛星的商業運轉愈來愈普遍，在資料取得經費逐漸下降的趨勢下，預料將更爲突顯光譜遙測技術應用於農

業生產的潛力和發揮空間。我國華衛二號衛星若能於 2003 年底順利發射升高，開使其正常業務運轉，光譜遙測在國內的應用前景將一片光明，相信在包括農業生產方面的研究與實用也更將蓬勃發展。

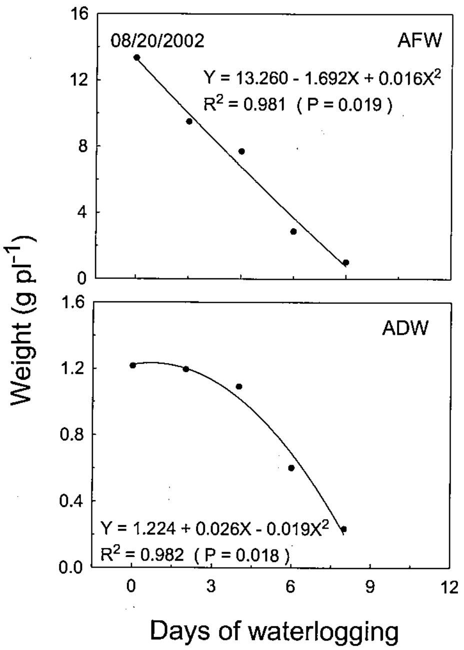


圖 5. 莧菜(*Amaranthus mangostanus* L., cultivar Tainung 1)地上部植體鮮重及乾重隨著淹水天數增加而下降的情形。

(一)輻射光譜遙測應用於監測莧菜的淹水狀態

農作物植被反射比光譜曲線，在常態環境下全生育期的變化長常會呈現規則性波動，惟當環境異動時將出現質與量上的不同，顯示光譜的改變可能受到外在環境影響。因此，欲獲得完整的分析資料，應當收集作物常態與非常態的光譜，由其間的差異瞭解光譜質與量上的改變。本研究由不等淹水天數的處理，發現莧菜地上部植被的鮮重及乾重均隨著淹水天數的增加而下降(圖 5)，生質量的降低反應出植株生長衰退、植體萎凋的發生，加上顏色的變異，因此植被反射輻射光譜必然也出現顯著變化。果然由圖 6 不等淹水天數量測到的平均值反射比光譜曲線，顯示淹水程度的升高將增加可見光的反射比而降低近紅外光至中紅外光的反射比，呈現淹水造成的光譜曲線差異；即淹水使得莧菜光合能力趨弱、生質量減少及覆蓋率下降。當淹水天數達到 8 天時，莧菜植株幾已萎凋或死亡，植被光譜受到土壤干擾的效應非常明顯，因此部分波段將因嚴重影響而不宜採用。

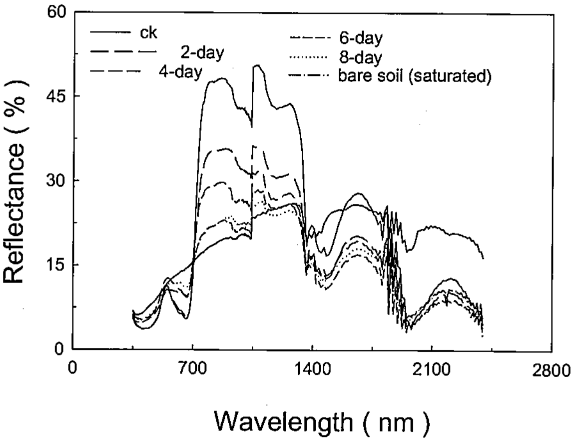


圖 6. 不等淹水天數造成莧菜(*Amaranthus mangostanus* L., cultivar Tainung 1)植被平均反射比光譜曲線的改變。

經由植被光譜分析，發現光譜之 665 nm 及 765 nm 窄波段位置之反射比受到不等淹水天數的影響，呈現直線變化(圖 7)。其中 665 nm 之反射比隨淹水天數的增加而上升，反應出光合能力的降低；765 nm 之反射比則隨淹水天數的增加而下降，顯示植被生質量及覆蓋率的減少。於是，可以由此二窄波段反射比的變化，瞭解莧菜的淹水狀態，以及莧菜植株外觀徵狀及內在生理代謝受到的影響。

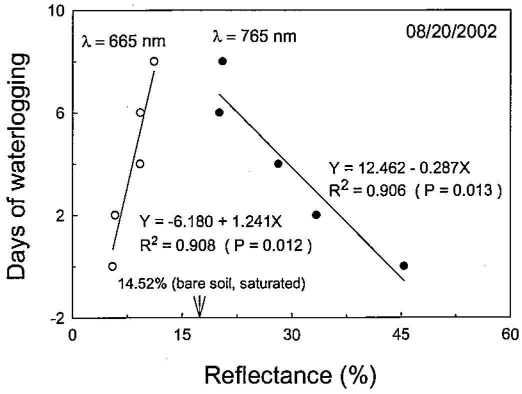


圖 7. 莧菜(*Amaranthus mangostanus* L., cultivar Tainung 1)植被反射光譜之 665 nm 及 765 nm 窄波段位置之反射比受到不等淹水天數的影響。

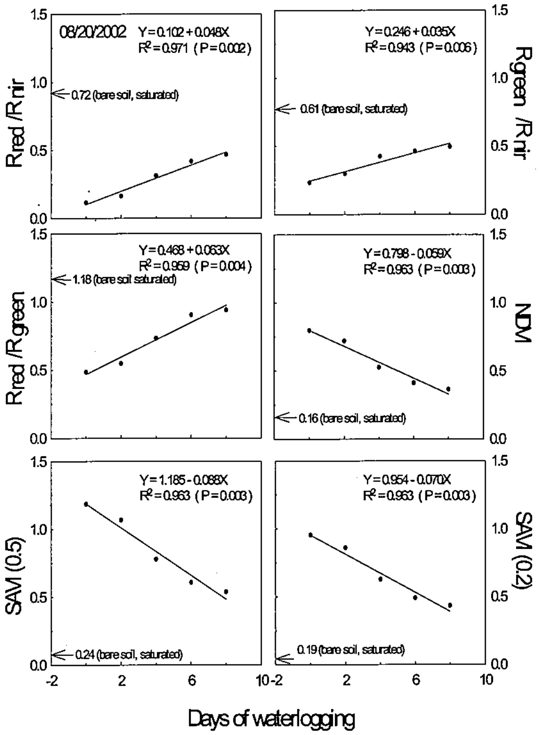


圖 8. 莧菜(*Amaranthus mangostanus* L., cultivar Tainung 1)植被光譜計算之光譜指數值(Rred/Rnir, Rgreeg/Rnir, Rred/Rgreen, NDVI, and SAVIs)受到不等淹水天數的影響。 其中 SAVI 之比重因子有 0.5 及 0.2 二項比較

續又利用莧菜植被光譜中的綠光波段波峰(green)、紅光波段波谷(red)及近紅外光波段頂點(nir)等光譜特徵窄波段位置之反射比，計算光譜指數 Rred/Rnir 、 Rgreeg/Rnir 、 Rred/Rgreen 及 NDVI，並以 0.5 及 0.2 二項比重因子計算 SAVI，發現這些光譜指數均受到淹水天數的影響(圖 8)。顯然淹水對莧菜植株負面危害及造成植被光譜改變之間具有密切關係，除了前述紅光及近紅外光波段代表的意義之外，也引起可見光的變異。從植被外觀顏色上的比較，生理代謝可能的不同，以及植體含水狀態的差別，皆是淹水影響可見光的潛在原因，尤其與葉綠素濃度有關的綠光波段吸收及反射特性。由圖示，其中 Rred/Rnir 、 Rgreeg/Rnir 及 Rred/Rgreen 與淹水天數之間呈現直線正相關，NDVI 及 SAVI 與淹水天數之間則爲直線負相關。由於淹水對這些光譜特徵波段及光譜指數的影響，反過來可經由這些光譜特徵波段的反射比及光譜指數的比值升降，來推估莧菜的淹水狀態及淹水程度。

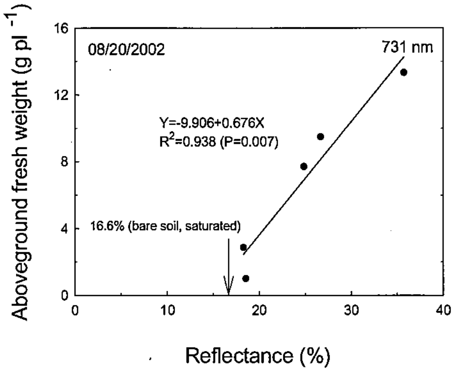


圖 9. 莧菜(*Amaranthus mangostanus* L., cultivar Tainung 1)地上部植被鮮重與光譜特徵窄波段 731 nm 位置之反射比之相關。

除了單一窄波段的密切關係，基於上述的理論邏輯，莧菜地上部植體鮮重與適當的光譜指數之間亦將具有適度的相關。圖 10 顯示 Rred/Rnir, Rgreeg/Rnir, Rred/Rgreen 及 NDVI

等光譜指數與莧菜地上部植體鮮重具有顯著的直線關係。由於淹水下生質量的減少反應出 nir 的下降及 red 與 green 的上升，因此莧菜地上部植體鮮重與 Rred/Rnir 及 Rgreeg/Rnir 皆爲負相關，而與 NDVI 則爲正相關。與 Rred/Rgreen 之關係爲負向，表示 green 反射比上升的幅度大於 red 反射比者。

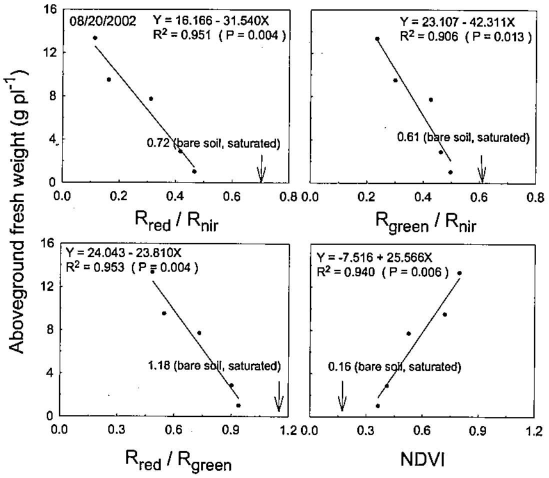


圖 10. 莧菜(*Amaranthus mangostanus* L., cultivar Tainung 1)地上部植被鮮重與光譜指數 Rred/Rnir, Rgreeg/Rnir, Rred/Rgreen 及 NDVI 之相關。

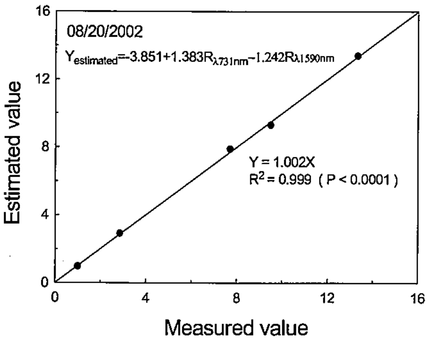


圖 11. 莧菜(*Amaranthus mangostanus* L., cultivar Tainung 1)地上部植被鮮重利用二元線性複迴歸模式之估測值與實測值之比較。

爲提高光譜模式涵蓋試驗資料之變異性，再進行多元直線複迴歸分析，由統計軟體 SAS 8.1 進行共線性分析及逐步迴歸分析，找出波段組合使得決定係數大於 0.95 的多元直線迴歸模式。結果發現，由 731 nm 及 1590 nm 二窄波段反射比組合的二元直線迴歸模式，其對莧菜地上部植體鮮重的估測值與實測值相關達到 R^2=0.999(P<0.0001)，非常接近 1:1 之直線關係。

綜合本研究結果，顯示可由莧菜植被反射光譜篩檢出特定的光譜特徵波段，分由單一窄波段、光譜指數及二元直線迴歸模式進行對植株淹水狀態與生長影響的評估。在本項試驗舉例中，組合二個光譜特徵波段之二元直線迴歸模式確可提高估測的準確度。

四、結語

經過近六、七年來試驗研究，作者已由研究結果瞭解光譜遙測的應用層次與其限制，經證之於文獻報告亦有相同結論。由莧菜的淹水狀態探討，以及在水稻的其他研究，如陳及楊(2002)和楊及陳(2003)篩檢出多元直線迴歸模式提高對生長的估測，陳及楊(2003)由植被高解析反射光譜計算之 NDVI 間接預測水稻的產量，張及楊(2003)之多元線性迴歸模式獲得對稻株氮素含量相當程度的估測，其他光譜特徵辨識遭受瘤野螟及稻熱病危害(楊等，2002)、感染褐飛蝨(Yang and Cheng, 2001)、及缺水逆境區分(Yang and Su, 2000)等，均有正面的研究結果。因此，只要作物植被的色澤、組織結構、組成分及生理代謝的表現影響其反射光譜特性時，無論係自身的生育進展或環境造成，均將反應在作物植被反射光譜的質與量變化，皆可利用輻射光譜遙測予以偵(檢)測。惟在限制因子的排除與拿捏，結果的解釋與應用上，仍仰賴研究人員的專業素養和具體實踐。

五、誌謝

本文有關作者之試驗研究，承蒙行政院農業委員會和國家科學委員會的計畫經費補助，特以表示由衷感謝。

六、引用文獻

陳榮坤 楊純明. 2002. 以近地面高解析植被光譜及模擬 SPOT 衛星寬頻光譜估測水稻生長性狀的變化. 中華農業研究 51(4):1-18.

陳榮坤、楊純明。2003。由植被高解析反射光譜模式化水稻之產量。p.25-34。水稻精準農業體系。楊純明；林俊義，主編。行政院農委會農業試驗所出版，臺中縣。

張芳銘、楊純明。2003。由植被高解析反射光譜模式化稻株之氮素含量。p.35-42。水稻精準農業體系。楊純明；林俊義，主編。行政院農委會農業試驗所出版，臺中縣。

楊純明、鄭清煥、張義璋、余志儒。2002。利用植被光譜特徵辨識水稻遭受瘤野螟及褐飛蝨之危害。p.1-18。應用於水稻精準農業體系之知識與技術。楊純明、林俊義，主編。2002。行政院農委會農業試驗所出版，臺中縣。

楊純明、陳榮坤。2003。由植被高解析反射光譜模式化水稻之生長。p.13-24。水稻精準農業體系。楊純明；林俊義，主編。行政院農委會農業試驗所出版，臺中縣。

農業統計年報。2001。行政院農業委員會編印，臺北市。452pp。

Anderson, G.L., and J.D. Hanson. 1992. Evaluating hand-held radiometer derived vegetation indices for estimating above ground biomass. Geocarto Intl. 1:71-78.

Baret, F., and G. Guyot. 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. Remote Sens. Environ. 35:161-174.

Barrett, E.C., and L.F. Curtis. 1982. Introduction to Environmental Remote Sensing. 2nd ed. Chapman and Hall, London. 352pp.

Berry, J. A. and J. K. Raison. 1981. Response of macrophytes to temperature. p.277-338. *In*: Encyclopedia of plant physiology 12A, Physiological plant ecology. I. Response to the physical environment.. Springer-Verlag, Berlin.

Ellis, R. H., R. J. Summerfield, G. O. Edmeades and E. H. Roberts. 1992. Photoperiod, temperature, and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. Crop Sci. 32: 1225-1232.

Ellis, R. H., R. J. Summerfield, G. O. Edmeades and E. H. Roberts. 1992. Photoperiod, temperature, and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. Crop Sci. 32: 1225-1232.

Elvidge, C.D., and Z. Chen. 1995. Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. Remote Sens. Environ. 54:38-48.

Gates, D.M., H.J. Keegan, J.C. Schleter, and V.R. Weidner. 1965. Spectral properties of plants. Appl. Opt. 9:545-552.

Gausman, H.W., W.A. Allen, D.E. Escobar, R.R. Rodriguez, and R. Cardenas. 1981. Age effects of cotton leaves on light reflectance, transmittance, and absorptance and on water content and thickness. Agron. J. 63:465-469.

Gilabert, M.A., S. Gandia, and J. Melia. 1996. Analyses of spectral-biophysical relationships for a corn canopy. Remote Sens.

Environ. 55:11-20.

Hatfield, J. L., R. J. Reginato and S. B. Idso. 1984. Evaluation of canopy temperature-evapotranspiration models over various crops. Agric. For. Meteorol. 32: 41-53.

Hatfield, J. L. 1990. Measuring plant stress with an infrared thermometer. HortScience 25: 1535-1538.Hodges, T. 1991. Temperature and water stress effects on phenology. p.7-13. In: Predicting crop phenology. T. Hodges, ed. CRC press, Boca Raton, FL., USA.

Hodges, T. 1991. Temperature and water stress effects on phenology. P.7-13. In: Predicting crop phenology. T. Hodges, ed. CRC press, Boca Raton, FL., USA.

Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sens. Environ. 25:295-309.

Jackson, R. D., R. J. Reginato and S. B. Idso. 1977. Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements. Water Resour. Res. 65: 651-656.

Johnson, I. R. and J. H. M. Thornley. 1985. Temperature dependence of plant and crop processes. Ann. Bot. 55: 1-24.

Prasad Ed., M.N.V. 1997. Plant Ecophysiology: Flooding. John Wiley &Sons, New York.

Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, D.W. Deering, and J.C. Harlan. 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradiation (greenwave effect) of natural vegetation. NASA/GSFC Type III report. Greenbelt, MD, USA. 371pp.

Taconet, O., A. Olioso, M. Ben Mehrez and N. Brisson. 1995. Seasonal estimation of evaporation and stomatal conductance over a soybean field using surface IR temperatures. Agric. For. Meteorol. 73: 321-337.

Throssell, C. S., R. N. Carrow and G. A. Milliken. 1987. Canopy temperature based irrigation scheduling indices for Kentucky bluegrass turf. Crop Sci. 27: 126-129.

Thunnissen, H. A. M. and G. J. A. Nieuwenhuis. 1990. A simplified method to estimate regional 24-h evapotranspiration from thermal infrared data. Remote Sens. Environ. 31: 211-225.

Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment. 8:127-150.

Wiegand, C.L., S.J. Mass, J.K. Aese, et al. 1990. Multisite analyses of spectral-biophysical data for wheat. Remote Sens. Environ. 42:1-21.

Wiegand, C.L., A.J. Richardson, D.F. Escobar, and A.H. Gerbermann. 1991. Vegetation indices in crop assessment. Remote Sens. Environ. 35:105-119.

Yang, C.-M., and M.-R. Su. 1997. Analysis of reflectance spectrum of rice canopy. (in Chinese) Chinese J. Agromet. 4:87-95.

Yang, C.-M. and M.-R. Su. 2000. Analysis of spectral characteristics of rice canopy under water deficiency. Pp.13-18. In: Proceedings of the 21st Asian Conference on Remote Sensing. 4-8 December 2000, Taipei. National Central University/ Chinese Taipei Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Chungli.

Yang, C.-M. and Y.-C. Cheng. 2001. Spectral characteristics of rice plants infested by brown planthopper. Natl. Sci. Counc. ROC (B)25:180-186.

Using Spectral Remote Sensing to Monitoring Water-logging Status of *Amaranthus mangostanus*

Chwen-Ming Yang
Division of Agronomy, Agricultural Research Insitute, Council of Agriculture, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan, ROC
E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

This paper describes the applications and limitations of using spectral remote sensing to monitoring crop growth status in the field, and the utilization of reflectance spectrum and thermal infrared image to evaluate water-logging status of *Amaranthus mangostanus*. In conclusions, it is found that when crop is affected by the changes of physiological metabolism and morphological modification due to growth development or environmental impacts, it may cause variation in canopy reflectance spectrum qualitatively and quantitatively. Such phenomenon can be detected by the techniques of spectral remote sensing. The ability to avoid the limitation factors and provide the suitable interpretation is based on the expertise of researchers.

Key words: Spectral remote sensing, *Amaranthus mangostanus* 、Production monitoring, Water-logging status.

農業氣象災害調查與防護技術
寄接梨寒霜害防護方法
93-104, 2003

寄接梨寒霜害防護方法

李炳和*[1]、廖志翔[1]、申雍[2]
[1]交通部中央氣象局
2 國立中興大學土壤環境科學系
E-mail: phlee@cwb.gov.tw

摘要 ---------- 94

一、前言 ---------- 94

二、發生寒霜害的氣象環境與地形條件 ---------- 95

三、熱通量傳輸路徑 ---------- 95

四、寒霜害防護措施分析 ---------- 96

五、寒霜害防護方法之實例 ---------- 97

六、結語 ---------- 99

七、誌謝 ---------- 99

八、引用文獻 ---------- 99

ABSTRACT ---------- 101

寄接梨寒霜害防護方法

李炳和*[1]、廖志翔[1]、申雍[2]
[1]交通部中央氣象局
2 國立中興大學土壤環境科學系
E-mail: phlee@cwb.gov.tw

摘要

梨爲台灣重要之經濟果樹之一，栽培總面積近一萬公頃，其中以台中縣近六千公頃最多，爲本省主要生產地區。寄接梨梨穗嫁接期在 12 月至 1 月，此期間適逢臺灣低溫期，接穗後初期若遇寒潮爆發，梨穗即發生寒霜害，造成果農嚴重的損失。本文從臺灣地區可能發生寒霜害的氣象環境與地形條件，以及梨園微氣象環境之熱通量傳輸路徑與防護措施分析等，分別進行說明，並以臺中縣東勢地區三種防護措施爲例，分析其防護效果、設計上的優缺點及改進之道。

關鍵詞：寄接梨，寒霜害，防護措施。

一、前言

臺灣位處歐亞大陸和太平洋交接處，自秋末至翌年初春易受大陸冷氣團南下之影響，平地及低海拔山區的月平均最低氣溫自 12 月至翌年 2 月間都低於 15℃，1 月間出現≦5℃絕對最低溫的頻率除南部沿海地區、恆春半島、及東部沿岸低於 20%外，其餘地區都在 20％以上(郭，1978)。

寒霜害經常造成農業嚴重的損失，與颱風、豪雨、乾旱災害並列爲臺灣四大氣象災害。根據以往農業氣象災害統計資料顯示，臺灣地區由寒霜害造成的農業總損失居第三位，僅次於颱風、豪雨災害。以近十(82-91)年臺中縣的氣象災害爲例，本期間曾發生二次的寒霜害，分別是 84 年 2 月的寒害及 89 年 4 月的霜害，梨的受害程度都在 50%以上，每次損失金額均超過新台幣三億元(農業統計年報，1993-2002)。

爲防止果樹遭受寒霜害，國內外已研究出多種防護方法，但由於果樹種類、果園面積、地形及地勢...等不盡相同，因此需配合果樹及果園特性研發經濟有效的防護措施。國內外研究的防護方法，如 pvc 覆蓋葡萄棚架上，以減少長波輻射的損失(章，1994)、將風扇置於植株葉冠上方(Gerber, 1979)或置於果樹棚架下方(申及章，1994)，以強制對流方式，減少霜害之發生；更有應用輻射加熱方法，直接將熱能投射於植株群落，以達增溫效果(Rosenberg *et al.*, 1983)。

以下將先從臺灣地區可能發生寒霜害的氣象環境與地形條件，以及果園內熱通量傳輸路徑與防護措施分析兩方向進行說明，再分別比較東勢地區寄接梨現有的三種措施之防護效果，並說明設計上之優缺點及其改進之道。

二、發生寒霜害的氣象環境與地形條件

引發臺灣地區果樹遭受寒霜害的氣象環境，多發生於冬季冷鋒通過後，因高壓下沉氣流造成之晴朗、乾燥、無風至微風的夜晚，此時不僅輻射冷卻強烈，且因風力微弱不足以打破夜間穩定層而導致顯熱供輸不足，因而導致植被溫度顯著下降。顏(1961)、徐及辛(1979)、郭(1980)、徐(1981)等人對臺灣地區平地與低海拔山區低溫形成原因進行的分析，也都指出冷鋒通過後的強烈輻射冷卻效應是導致低溫逆境形成的主因。

地形條件也會影響發生局部地區發生寒霜害的機率。例如，依臺灣地區一月份≦5℃絕對最低溫度出現頻率的分佈圖(郭，1978)，可推知沿雪山山脈下降的冷空氣易使臺中盆地東北方的地區發生寒霜害；位於群山中的南投埔里盆地，易成爲冷空氣聚積之處，也容易發生寒霜害；位於中央山脈西側的雲嘉地區，冬季處於東北季風的背風側，天氣多屬晴朗穩定，夜間輻射冷卻強烈，低溫出現頻率則相對升高；北部地區冬季氣溫雖低，但因東北季風氣流受地形抬升影響，天空雲量較多，地面輻射冷卻弱，因此遭受寒霜害的機會並未相對增多；東部地區因輻射冷卻受山勢侷限，且有暖洋流流經，因此也不容易發生寒霜害。又如，依氣溫遞減率，山區高度越高氣溫越低，但是在山頂和山坡地區因空氣容易流動，並不容易發生寒霜害，反而是谷底地區因冷空氣下滑累積容易發生寒霜害，徐及黃(1984)曾依此原則進行山區霜害危險度區劃。受陸風影響之沿海地區，因冷空氣不易聚集並不容易發生寒霜害，但受大型遮蔽物影響形成之局部靜風地區，仍可能發生寒霜害(徐等，1995)。

三、熱通量傳輸路徑

圖 1 爲土壤-植被-大氣間主要熱通量傳輸路徑的示意圖，其中 T_a、T_c、T_s 分別代表空氣、植被頂梢葉溫、與土表溫度；e_a、e_c、e_s 分別代表空氣、植被頂梢、與土表之水蒸氣壓；R_n、H、LE、G 分別代表淨輻射、顯熱、潛熱、與土壤熱流；r_R、r_H、r_V 分別代表以輻射、顯熱、與潛熱方式傳輸的傳遞阻力；S_H 與 S_V 則分別代表可外加之熱源與水氣源。顯熱與潛熱之傳輸主要以對流方式行之，因此 r_H 和 r_V 主要受風速及空氣穩定性之影響(Rosenberg *et al.*, 1983；Monteith and Unsworth, 1990)；輻射傳遞阻力則主要決定於傳輸路徑上是否有輻射屏蔽之存在(Incropera and De Witt, 1990)。

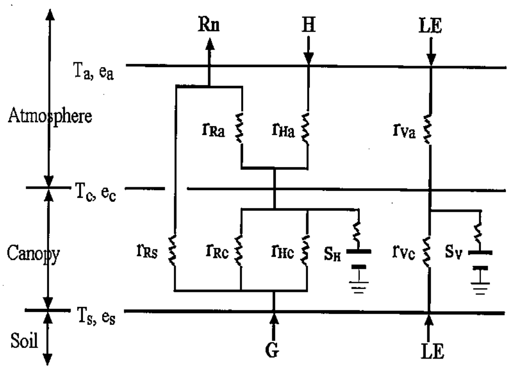


圖 1.果園中夜間熱通量輸送路徑示意圖。

夜間植被以長波輻射方式損失的熱量必須靠流向植被之顯熱、潛熱、和土壤熱流進行補充，否則植被溫度將持續下降。在易於發生寒霜害的氣象環境下，強烈之輻射冷卻效應不僅導致熱量急速損失，而微弱的風力又無法有效打破強烈的夜間穩定層，因此減弱由植被上方較暖空氣向下輸送的顯熱，且冷高壓下沉的乾空氣也導致潛熱的供應減少。一般而言，受植被葉片之輻射屏蔽效應影響，土表溫度通常

不僅顯著高於植被頂梢的葉溫，也高於植被上方的氣溫，表明土壤內儲有大量熱能(顯熱與潛熱)可供利用，惟由於受植被枝葉減弱風速之效應，使得植被內的傳遞阻力 r_{Hc}、r_{Vc} 增大，因而不易於向上傳輸到最易受害的植被頂梢部位。

由上述相關熱通量傳輸路徑的分析，可瞭解有關寒霜害的物理性防護措施，可從減少長波輻射損失，增加流向植被之顯熱、潛熱、及土壤熱流量，或補充額外的能量等方向著手。

四、寒霜害防護措施分析

以下就國內外寒霜害之各種防護措施的優缺點進行分析。

(一)減少長波輻射損失

利用 PVC 塑膠布、不織布、遮陰網、…等長波輻射不易穿透的覆蓋材料作成的輻射屏蔽，能有效阻擋長波輻射的逸失，是一種防護低溫逆境的有效措施。利用塑膠布搭建的簡易溫室和低矮棚架，已被廣泛用於台灣中北部地區，做爲冬季蔬菜的保溫措施使用；塑膠布覆蓋也常被用於水稻秧苗的防寒措施中。以棚架覆蓋塑膠布做爲防護果樹低溫逆境的措施並不多見，可能因爲果樹樹型多高大，且每株果樹所需的單位面積大，搭建大型防護措施並無法獲得經濟效益。此外，因溫室效應產生之日間高溫，和棚架與覆蓋物對光合作用有效輻射量之減低等不利因素也可能影響果品之產值。

但是，若能準確預測低溫逆境發生的日期，並能將不織布或遮陰網等輕柔材質的覆蓋材料快速的覆蓋於植株上，且取下時又不會對植株造成傷害，則可考慮於發生低溫逆境的期間，利用阻擋長波輻射損失的方法進行防護。

(二)增加顯熱供應

以高架風扇打破地表的夜間穩定層，使作物上方的暖空氣得以向下輸送，增加葉片顯熱之供給，在國外已成爲一種常見的防護措施(Barfield and Gerber, 1979；眞木等，1991)。需注意的是，當夜間輻射冷卻強烈時，地表的逆溫現象明顯，夜間穩定層非常安定，需於大範圍內佈設多組大馬力的高架風扇，才能有效打破此逆溫層並將較高處的暖空氣引下。在台灣地區由於每戶果園面積小，且栽植的果樹種類多，因此尚未見到大面積聯合使用高架風扇做爲防護措施的實例。對新社地區小規模高架風扇試驗區農戶訪視的經驗指出，由於設置面積過小因而防護的效果並不好，且因高架風扇維護不易，目前多已荒廢不用；有農民曾將風扇改設於植被上方約 1 m 處，雖然維護作業相對較方便，但因高度不足導致可提供的顯熱有限，因此仍無法有效防護低溫逆境。

由於葉片的輻射屏蔽效應，土表溫度通常高於植被頂梢的溫度，因而由土表到植被頂梢間的空氣係處於不安定的狀態，惟由於枝葉對渦流形成的壓抑效應，土壤中儲存的熱量並不易向上傳輸，但若能提供適當的傳輸環境與誘發機制，土壤中儲存的大量熱源也可供做防護的顯熱熱源(申及章，1994)。

(三)提供額外熱源

利用夜間地面氣溫剖面具逆溫分佈的特性，若利用加熱器稍微加熱空氣，則被加熱的空氣會因逆溫的壓制作用而停留在某一高度下，因此也可使植被週遭的空氣暖合起來，而達到防護的目的。原則上，使用多量小型加熱器的防護效果要比用少數大型加熱器好，因爲大型加熱器易造成急速上升的熱氣流，反而達不到預期目的，且大型加熱器產生的高溫也可能會對作物造成直接危害(Martsolf, 1979)。

加熱器除了可直接加熱空氣外，加熱器的

熱能也可以經由輻射的方式，直接傳遞至植被的葉面而達防護的目的。一般而言，加熱器的熱量約有 2/3 會以輻射的方式傳輸。在枝葉繁茂的植被中，受輻射屏蔽效應之影響，雖然以輻射方式傳輸的效率並不高，但產生的熱能卻不易逸失；反之，在枝葉稀疏的植被中，由加熱器所提供的熱量，卻容易以輻射的方式穿透植被而損失。

爲避免因加熱器過熱所導致的熱量損失或對作物產生直接傷害，並減少以輻射方式損失的熱量，可以設法將加熱器產生的熱能轉換型式後利用。申及詹(1998a)曾以加熱器煮水的方式，將投入加熱器的熱能轉換成蒸發潛熱，可以更有效率的將投入的熱量傳輸到需要防護的植被位置，並可有效控制加熱器的溫度與減少輻射的損失。

(四)水的應用

水的比熱爲 1 cal g^{-1}℃$^{-1}$，但水的蒸發熱卻需要 580 cal g^{-1}，因此除非有充足的溫水來源與均勻有效的灑水系統，否則不應輕率使用灑水方法做爲果樹的防護措施。若採用灑水方法做爲防護措施，則夜間一旦啓用，就必須連續使用直至清晨日出後，否則反而更易受害。但是，若於清晨日出後，利用灑水系統將植被上已形成的霜洗掉，則可減輕霜害的程度。

適量的水分可增加土壤的熱傳導率和土壤的熱容量，並降低土壤的反射率，因此可於強烈寒流侵襲前進行適度灌溉，使土壤能有效蓄積晝間入射的日射能量，而於夜間釋出，以減輕所受寒霜害的程度。此外，冬季期間地下水溫通常高於氣溫甚多，若地下水源豐富，且果樹樹型不高又可以耐受短期的浸水，亦可考慮於夜間以地下水淹灌果園進行防護。

(五)防風林(網)的應用

在坡地上種植防風林或設置防風網，阻擋夜間沿坡面下滑的冷空氣，可以減輕位於谷底作物的寒霜害。但於空曠的平原地區設置防風措施，將會使原本已相當微弱的風速更加減緩，導致渦流傳遞阻力因風速降低而增加，減少由植被上方暖空氣向植被輸送的顯熱熱量，反而增加寒霜害的發生機率(眞木等，1991；申及詹，1998b)。

五、寒霜害防護方法之實例

(一)加熱器(燈泡)加熱空氣法

於梨架上方架設工業用燈泡直接加熱空氣，每燈架上置 350 W 燈泡兩盞，各燈架距離約 10 m(圖 2)。

以此方式可直接加熱空氣外，加熱器的熱能也可以經由輻射的方式傳遞至植被的葉面，而達防護的目的，但由圖 3 知，燈照時間(92.1.6, 0-7 時)之枝條溫度較對照(不照光)僅高約 0.2℃，似乎未達預期效果，此因燈泡置於枝條上方，本體之熱能絕大部分逸散至枝條上方之空氣中(無效熱)，僅少部分輻射熱傳遞至枝條上，因此對枝條溫度之提昇幫助不大。

圖 2.燈泡加熱空氣法。

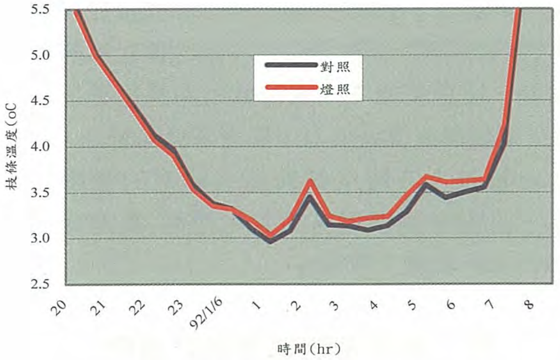


圖 3.燈泡加熱法對寒霜害之防護效果。

本方法使用上雖具省時省力之優點，但裝置成本高、降雨時不能使用、開啓燈泡之電費非常昂貴(2,000 元/公頃/夜)，且預防寒霜害效果不佳，要提高防護效果，必須增加燈泡密度，如此耗電量必然增加，故經濟效益不高，因此較不適合使用於寄接梨寒霜害之防護法。

(二)加熱器(煮水)加熱空氣法

於梨園地上放置爐火(300 個/公頃)，爐火上置廢棄之油桶(如沙拉油、夏油桶…)，以木炭將桶內之水燒開之後，水蒸氣隨即上升，部份水蒸氣自枝條間空隙逃逸，部份附著於枝葉上轉換成蒸發潛熱，可提高葉片溫度。再者，爐火及水桶除可加熱空氣及提高土壤溫度外，且其熱能亦可經由輻射方式，直接傳遞至枝條，可有效提昇枝條溫度，達多重防護效果(圖 4)。

圖 4. 煮水加熱空氣法·

試驗結果顯示(圖 5)，於寒潮低溫之夜晚(92.1.5, 23:00 - 1.6, 07:00)，煮水加熱法(防護區)之枝條溫度較對照區平均高約 0.5℃。

本法在梨的寒霜害預防上，爲經濟又有效之防護措施，但農民認爲小面積施行尚爲可行，而以較大面積的梨園而言，操作時費時又費工，在時間及體力上恐難以負荷，因此應針對缺點再研究改進，如採大型鍋爐將水蒸氣以管路方式輸送，或以電能自動加熱方式……等，以節省勞力支出。

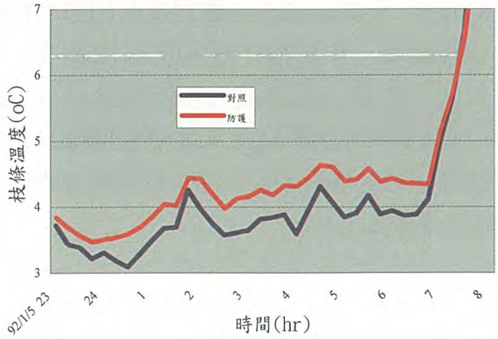


圖 5. 煮水加熱法對寒霜害之防護效果。

(三)PVC 塑膠棚減少輻射損失法

利用塑膠布搭建的簡易溫室，已被廣泛做爲冬季蔬菜的保溫措施，但少用於防護梨樹低溫災害，除因梨樹樹型高大，不易搭建外，且梨園單位面積大，搭建大型防護措施經濟效益低，因此農民極少嘗試。圖 6 是台中縣東勢鎮蘇姓梨農自行搭建的簡易塑膠棚，作爲防護冬季寒霜害及降雨災害措施。

圖 6.簡易塑膠棚防護寒霜害措施。

以塑膠布作爲覆蓋材料，長波輻射不易穿透，能有效阻擋長波輻射的損失，爲防護低溫逆境的有效措施。由圖 7 比較圖得知，設施內枝條溫度自 20 時之後即明顯的上升，至凌晨 1-2 時與設施外之溫度達最大差距(約 1℃)，日出後因溫室效應的關係，枝條溫度仍較設施外高。

梨穗開花至幼果期，低溫常使梨穗受損，導致開花受阻，無法結果或結果不良，須重新接穗，降雨亦然。因此，覆蓋 pvc 塑膠棚除可有效預防寒霜害外，且可有效防止降雨之傷害(降雨強度大小皆然)，爲寄接梨防護低溫及降雨災害之良好措施。但是，本措施不僅材料昂貴，且梨園多數位山坡或山谷處，或者交通不便之處，運輸及施工成本高，較不符經濟效益。因此，研究改良 pvc 棚之搭建方式，或改用他種廉價材料，或者改變塑膠布之收放方式等，將可大幅降低成本。

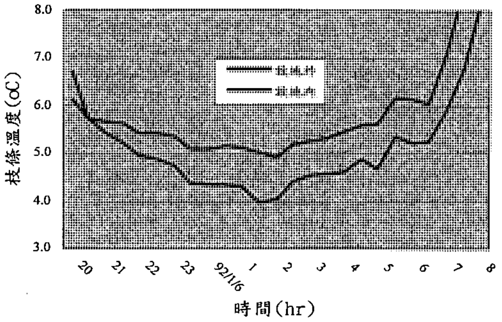


圖 7. pvc 塑膠棚對寒霜害防護之效果。

六、結語

在全球氣候變遷之下，災變天氣頻率日益增高，寄接梨因而常遭受其害，其中又以寒霜害最爲嚴重，而農民卻苦無經濟有效之應變措施，爲協助梨農因應寒霜害所招致的損失，亟需積極開發相關之防護管理措施。

寄接梨防護措施設計的研發，除需長期觀測防護措施在低溫逆境強度下的防護效果外，還需要當地發生寒霜害之風險機率的相關資訊，以進行必要之經濟效益評估，據此才能推廣應用，或進一步試用於他種果樹。

七、誌謝

本文部分內容爲行政院農業委員會研究計畫(編號：92 農科-8.1.1-糧-Z1)，在此謹申謝忱。

八、引用文獻

申雍、章國威。1994。東勢地區葡萄園霜害發生機制及風扇防雙方法之初步試驗。中華農業氣象 1:93-99。

申雍、詹文揚。1998a。高接梨園霜害防護措施研究。中華農業氣象 5:149-154。

申雍、詹文揚。1998b。屏東地區蓮霧園寒害防護措施之評估。中華農業氣象 5:7-13。

徐森雄。1981。台灣西南部氣溫之地理分佈特性。中華水土保持學報 12：93-101。

徐森雄、黃國禎。1984。臺灣中部地區霜危險度之調查 2.從小氣後學觀點來推測霜之危險度。國科會防災科技報告 73-02 號。

徐森雄、謝杉舟、唐琦、陳泰然、吳清吉、林博雄。1995。嘉和遮體對其東側芒果園微氣候之影響。中華農業氣象 2：169-177。

徐晉淮、辛江霖。1979。臺灣地區降霜之分析研究。氣象學報 25：25-34。

郭文鑠。1978。臺灣農業氣候區域研究。中央氣象局，臺北市。

章國威。1994。台灣中部山區葡萄、枇杷霜害之發生機制與預防技術之研究。國立中興大學土壤學研究所碩士論文。

郭文鑠。1978。臺灣農業氣候區域研究。中央

氣象局，臺北市。
郭文鑠。1980。臺灣農業氣候區域規劃。中央氣象局，臺北市。
農業統計年報。1993-2002。行政院農業委員會編印。台北市。
顏俊士。1961。臺灣之寒害。氣象學報 7:23-34。
眞木太一、鈴木義則、鴨田福也、早川誠而、泊功。1991。農業氣象災害的對策。養賢堂，日本。
Barfield, B. J. and J. F. Gerber (eds.). 1979. *Modification of the Aerial Environment of Plants.* 538pp. ASAE. Monogr. 2.
Gerber, J.F. 1979. Mixing the bottom of the atmosphere to modify temperatures on cold nights. p.315-324. *In: Modification of the aerial environment of plant.* B.J. Barfield and J.F. Gerber, eds., ASAE. Monogr.2.
Incropera, F. P. and D. P. De Witt. 1990. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 3rd. ed. John Wiley & Sons, New York.
Martsolf, J. D. 1979. Heating for frost protection. p. 291-314. *In*: *Modification of the aerial environment of plant.* B. J. Barfield and J. F. Gerber, eds., ASAE. Monogr. 2.
Monteith, J.L. and M. Unsworth. 1990. *Principles of Environmental Physics.* 2nd ed. Edward Arnold, London.
Rosenberg, N.J., B.L. Blad and S.B. Verma. 1983. *Microclimate. The Biological Environment.* 2nd ed. John Wiley & Sons, New York.

Cold Damage Protection Techniques for Grafted-Pear

Ping-Ho Lee[1], Chih-Hsiang Liao[1] and Yuan Shen[2]
[1]Central Weather Bureau, Ministry of Transportation and Communication, Taipei,Taiwan, ROC
[2]Department of Soil & Environmental Sciences, National Chung Hsing Univeristy, Taichung, Taiwam, ROC
E-mail: phlee@cwb.gov.tw

ABSTRACT

Grafted pear is one of the major fruits grown in Taiwan. Among the total planted area of about 10,000 ha, there are 6,000 ha in Taichung County. December and January are the coldest months in Taiwan and also the periods conducting grafting operation. The new buds and flowers could be severely damaged if strong cold air mass moved in during this period. In this paper, we discussed meteorological and topographical conditions favored for cold damages to occur. Heat transfer in the field and potential mitigation methods were also analyzed through micrometeorological measurements. The effects, advantages and disadvantages of three protection methods were also discussed based on the experiments conducted in Donshi, Taichung County.

Key words：Grafted-pear, Cold damage, Protection techniques.

農業氣象災害調查與防護技術
澎湖地區無葉檉柳防風林下微氣候之變化及其對瓜類作物生產之影響
103-112, 2003

澎湖地區無葉檉柳防風林下微氣候之變化及其對瓜類作物生產之影響

韓青梅
行政院農業委員會高雄區農業改良場澎湖分場
E-mail: penbran@ms38.hinet.net

摘要 ---------- 104

一、前言 ---------- 104

二、方法 ---------- 105

三、結果與討論 ---------- 105

四、結語 ---------- 110

五、誌謝 ---------- 110

六、引用文獻 ---------- 110

ABSTRACT ---------- 112

澎湖地區無葉檉柳防風林下微氣候之變化及其對瓜類作物生產之影響

韓青梅
行政院農業委員會高雄區農業改良場澎湖分場
E-mail: penbran@ms38.hinet.net

摘要

瓜類作物爲澎湖地區重要之大宗蔬菜，本試驗之主要目的爲探討無葉檉柳防風林下微氣候之變化及其對瓜類作物生產之影響，以建立農林混植模式之參考。經 2001 年秋作及 2002 年春作之試驗結果得知：微氣候之調查，無葉檉柳防風林下秋冬季氣溫比無防風之空曠地（CK）平均提高 0.5℃。對減少東北季風之肆虐效果更優，平均比空曠地減少風速 72.4%。防風林下水分之蒸發量比空曠地減少 35.9%。空氣中鹽霧之含量，在檉柳防風林下 0.5 公尺高度之處，比空曠地平均減少 80.3%，1.5 公尺高度處，平均減少 87.2%。在檉柳防風林下背風面 2 m、3.5 m、5 m、6.5 m、8 m 及空曠地（CK）等定點測得之日射量及日照時數，均較空曠地(CK)低，但不同之距離間，以背風面 5 m 處最優。秋作檉柳防風林下種植越瓜、稜角絲瓜及小胡瓜等，果實產量均比無防風之空曠地(CK)高；春作則以 3 m、4 m、5 m、6 m、7 m 處較優，但 2 m、8 m、9 m 處卻較空曠地(CK)差。

關鍵詞：澎湖地區、檉柳防風林、小胡瓜、稜角絲瓜、越瓜。

一、前言

澎湖氣候環境惡劣，年雨量常不足 1000 公厘(周，1995)，且多集中於每年 6～7 月，此時亦正是颱風過後所帶來的鹽風及鹽雨，常造成作物嚴重損失，故缺水及鹽風害爲澎湖地區栽培作物的主要限制因子。作物主要栽培期爲每年 4～9 月，一年僅能一作，複作指數低。而每年 10 月～翌年 3 月爲強烈東北鹽風季，作物均不易生長，農田均休耕，任其鹽風沖蝕，造成田地貧瘠，因此作物單位面積產量爲全省最低。每年 1 月至 7 月採收之單位產值最高，但生育期正值東北鹽風季，田間必須有防風設施才能生產。澎湖農田均以咾咕石牆或防風網防風(江等，1988)，惟咾咕石已禁採，且防風效果不佳。防風網則因成本太高，亦非最佳的防風設施，唯有推廣農田防風林種植，建立防風林下作物生產模式，才是改善澎湖農業環境及增加作物生產最根本，也才是最有效的方法(周，1999)。澎湖分場自 1991～1994 年進行澎湖農田防風林樹種篩選，選出無葉檉柳作爲農田防風林樹種，並建立農田檉柳防風林栽植管理模式，可取代防風網、減少鹽風危害及改善作物周年栽培環境，並因此增加冬季作物生產。稜角絲瓜、小胡瓜及越瓜爲澎湖地區

較大宗之瓜類作物，目前急需建立瓜類作物在防風林下生產之模式，以供推薦給農民應用。

二、方法

(一)試驗材料:

選擇每 15 公尺已種植一行檉柳防風林爲試驗田，樹齡約 7～8 年生，樹高約爲 3.5 公尺，樹寬約爲 2.5 公尺，行長 40 公尺。小胡瓜品種採用喜燕品種，稜角絲瓜品種採用本分場育成之 KPH-84-4 品系，越瓜採用銀華品種。

(二)試驗方法:

1.作物田間設計：

在樹高及樹寬均修剪爲 2.0 公尺之檉柳防風林下，於春秋作種植小胡瓜、越瓜及稜角絲瓜，春作以無防風爲對照，秋作以 60% 防風網爲對照。採畦面覆蓋塑膠布栽培，畦寬 1.8 公尺。小胡瓜與稜角絲瓜一畦種植 2 行，株距 70 公分，立支架栽培。越瓜採單行植，株距 70 公分，行匍匐式栽培。每公頃化學肥料(N-P_2O_5-K_2O)施用量，小胡瓜爲 170-150-360 公斤，稜角絲瓜爲 150- 100-360 公斤。越瓜爲 160-150-350 公斤，有機質肥料 20 公噸。田間以滴灌方式灌溉，其餘栽培管理均依慣行法行之。

2.微氣候調查設計：

在檉柳防風林背風面裝置一套氣象自動觀測儀，可測定每二行作物區間日照時數、日射量、地溫、土壤水分(Bar)，以無防風區之氣象自動觀測儀爲對照。另外，鹽分測定則選用 30×30 公分之 20 支紗布袋，套在相同大小之鐵架上，於各測定點迎風面展開，靜置風中 24 小時，取回室內以 0.5 公升蒸餾水浸置 24 小時，再以超音波振盪器振盪 10 分鐘，用 CONSORT-C833 導電計測其濃度(ppm)。

(三)調查項目：

1.秋冬季防風及防鹽效果調查：

秋作小胡瓜、稜角絲瓜與越瓜生育期間以每行爲調查單位，調查園藝性狀、病蟲害及產量等，並測定溫度、濕度、風速、蒸發量、鹽分濃度、日照時數、日射量等。

2.春夏季遮蔭程度調查：

春作小胡瓜、稜角絲瓜與越瓜生育期間以每行爲調查單位，調查園藝性狀、病蟲害及產量等，並測定溫度、濕度、風速、蒸發量、日照時數、日射量等。

三、結果與討論

(一)檉柳防風林下微氣候之調查

1.氣溫

本試驗微氣候之調查，經 90 年秋作（10 月至翌年 2 月）及 91 年春作（3 月至 6 月）兩期之調查，平均氣溫方面，由圖 1-A 中發現，秋作期間在防風林下以 10 月溫度最高爲 24.8℃，隨著天氣越來越冷，氣溫逐漸下降；11 月爲 21.4℃，12 月爲 19.6℃，90 年 1 月爲 17.8℃，2 月爲 18.5℃。秋作在防風林下 5 個月之平均氣溫爲 20.4℃。空曠地各月份之平均氣溫，10 月爲 24.3℃，11 月爲 21.0℃，12 月爲 19.2℃，91 年 1 月 17.0℃，2 月爲 18.0℃，秋作空曠地 5 個月之平均氣溫爲 19.9℃。由此得知，秋作防風林下之平均氣溫比空曠地增加 0.5℃。春作期間，在防風林下各月份之平均氣溫 3 月爲 21.2℃，4 月爲 24.7℃，5 月爲 25.7，6 月爲 28.0℃，在春作在防風林下 4 個月之平均氣溫爲 24.9℃。春作空曠地，各月份之平均氣溫，3 月爲 21.5℃，4 月爲 24.0℃，5 月爲 25℃，6 月爲 26℃，春作空曠地 4 個月之平均氣溫爲 24.1℃。由以上結果得知，春作防風林下比空曠地平均氣溫高 0.8℃。綜合春秋兩作，檉柳防風林下之氣溫，秋作比空曠地增加 0.5℃，春作增加 0.8℃。

2.風速

由圖 1-B 中得，秋作防風林下各月份之最大風速，10 月 5.4 ms^{-1}，11 月 4.7 ms^{-1}，12 月 4.2 ms^{-1}，91 年 1 月 3.5 ms^{-1}，2 月 3.7 ms^{-1}，秋作在防風林下 5 個月之平均最大風速爲 4.3 ms^{-1}。秋作空曠地各月份之最大風速，10 月 18.5 ms^{-1}，11 月 19.5 ms^{-1}，12 月 12.6 ms^{-1}，91 年 1 月 12.5 ms^{-1}，2 月 15.0 ms^{-1}，秋作空曠地 5 個月之平均最大風速 15.6 ms^{-1}。由此得知檉柳防風林，防止東北季風之效果優，防風林下比空曠地可減少風速 72.4%。春作防風林下各月份之最大風速，3 月 3.3 ms^{-1}，4 月 7.5 ms^{-1}，5 月 5.4 ms^{-1}，6 月 5.0 ms^{-1}，春作在防風林下 4 個月之平均最大風速爲 5.3 ms^{-1}。春作空曠地各月份之最大風速，3 月 14.0 ms^{-1}，4 月 14.4 ms^{-1}，5 月 12.1 ms^{-1}，6 月 12.1 ms^{-1}，春作空曠地 4 個月之平均最大風速爲 13.2 ms^{-1}。由以上結果得知，春作防風林下比空曠地減少風速 59.8%。

綜合以上風速之調查結果，檉柳防風林之防風效果佳，秋作減少風速 72.4%，春作減少風速 59.8%。據蔡（1996）報導，澎湖地區秋冬季風速達 10ms^{-1} 日數高達 130 天，植物於此風速下根本無法生長，澎湖分場因農田種植檉柳防風林，可有效防止東北季風之侵襲，確保植物得以生長。

3.總蒸發量

防風林下與空曠地之水分蒸發量經測定，由圖 1-C 中得知，秋作防風林下之總蒸發量，10 月 36.3 mm，11 月 40.1 mm，12 月 85.5 mm，91 年 1 月 40.9 mm，2 月 71.0 mm，秋作防風林下 5 個月之平均總蒸發量爲 54.8 mm。秋作空曠地各月份之蒸發量，10 月 50.9 mm，11 月 85.6 mm，12 月 136.3 mm，91 年 1 月 63.7 mm，2 月 86.2mm，秋作空曠地 5 個月之平均總蒸發量 85.5 mm。由以上調查結果得知，秋作防風林下比空曠地減少蒸發量 35.9%。春作防風林下各月份之蒸發量，3 月 68.0 mm，4 月 89.0 mm，5 月 52.8 mm，6 月 111.0 mm，春作在防風林下 5 個月之平均總蒸發量 80.2 mm。春作空曠地各月份之蒸發量，3 月 126 mm，4 月 76.0 mm，5 月 37.0 mm，6 月 96.0 mm，春作空曠地 4 個月之平均總蒸發量 83.8 mm。由以上結果得知，春作防風林下比空曠地減少蒸發量 4.3%。

綜合以上總蒸發量之結果，防風林下比空曠地秋作可減少水份蒸發 35.9%，春作可減少水份蒸發 4.3%，在缺水之澎湖地區，種植檉柳防風林，可減少水分之蒸發，防旱之意義重大。

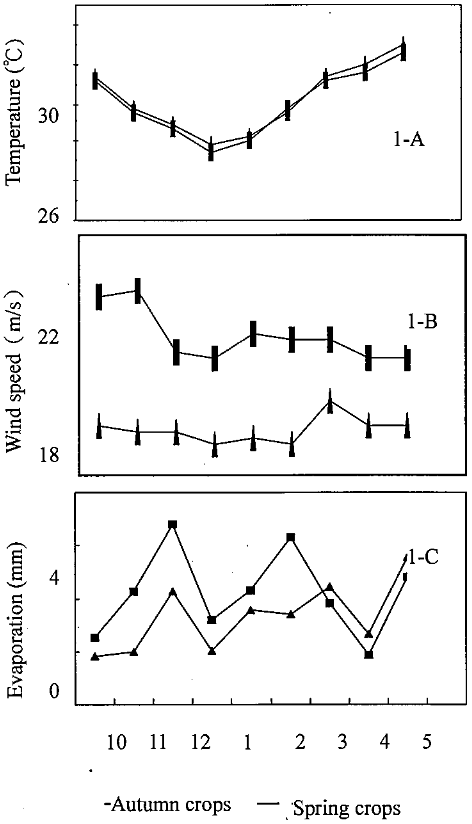


Fig.1. Changes in air temperature, wind speed and evaporation under windbreak and open field. —▲— under windbreak , —■— under open field.

4.日照時數及日射量

在兩行檉柳防風林間，由北向南即背風面 2、3.5、5、6.5 及 8 m 處各設立日射計一支，測日照時數及日射量。由圖 2-A 中得知，秋作期間之平均日射量 2 m 處為 6.8 MJ m^{-2} 較空曠地之 8.4 MJ m^{-2} 減少 29%。3.5 m 處為 7.0 MJ m^{-2} 減少 16.7%。5 m 處為 8 MJ m^{-2} 減少 4.8%。6.5 m 處 7.5 MJ m^{-2}，減少 10.7%。8 m 處 6.9 MJ m^{-2} 減少 17.9%。由以上結果得知，防風林下日射量比空曠地低，但以 5 m 處較佳，與空曠地差異較少。春作期間平均每日之日射量 2 m 處 7.2 MJ m^{-2}，較空曠地之 11.9 MJ m^{-2} 減少 39.9%、3.5 m 處 9.6 MJ m^{-2} 少 19%。5 m 處 11.0 MJ m^{-2} 僅少 7.6%。6.5 m 處 10.0 MJ m^{-2}，少 16%。8 m 處 8.7 MJ m^{-2} 少 26.9%。綜合以上之結果，無論春秋作，防風林下日射量均比空曠地少，但以 5 m 處差異小。

日照時數之調查，由圖 2-B 中得知，秋作防風林下 2 m 處日照時數平均 4.5 小時，比空曠地之 6.9 小時少 35%。3.5 m 處 5.9 小時，少 24%。5 m 處 6.7 小時，少 2.9%。6.5 m 處 6.1 小時，少 11.6%。8 m 處 5.8 小時，少 15%。春作期間 2 m 處平均日照時數 6.3 小時，比空曠地之 10.8 小時少 31.7%。3.5 m 處 8.2 小時，少 24.4%。5 m 處 10.2 小時，少 5.6%。6.5 m 處 8.5 小時，少 21.1%。8 m 處 8.3 小時，少 23.1%。綜合以上日照時數之調查結果，防風林下之日照時數比空曠地低，但以防風林下背風面 5m 處差異最小。

5.鹽分濃度

澎湖地區秋冬季，強烈之東北季風挾帶大量海上鹽霧吹向陸地，作物無法生長，試驗於檉柳防風林下 2、5、8 m 處分別測定北方（圖 3-A）及東方（圖 3-B），空氣中鹽分之含量。由圖 3-A 中得知，防風林下北方 0.5 m 高度之平均鹽分含量 2 m 處 58.3 ppm，比空曠地之 397.6 ppm，減少 85.3%。5 m 處 51.7 ppm，減少 87.0%，8 m 處 78.3 ppm，減少 80.3%。1.5 m 高度之平均鹽分含量 2 m 處 62.9 ppm，比空曠地之 490.8 ppm，減少 87.2%。5 m 處 74.0 ppm，減少 84.9%，8 m 處 114.6 ppm，減少 76.7%。由以上結果得知，防風林下北方 0.5 m 處比空曠地平均減少鹽分濃度 84.2%，1.5 m 處減少 82.9%。由圖 3- B 中得知，防風林下東方 0.5 m 高度之平均鹽分含量 2 m 處 46.7 ppm，比空曠地之 140.3 ppm，減少了 66.7%。5 m 處 52.9 ppm，減少 62.3%，8 m 處 77.0 ppm，減少 45.1%。1.5 m 高度之鹽分含量 2 m 處 48.2 ppm，比空曠地之 239.3 ppm 少 79.9%。5 m 處 63.1 ppm，少 73.6%，8 m 處 97.3 ppm，少 59.9%。由以上結果得知，防風林下東方 0.5 m 處比空曠地平均減少鹽分濃度 58%，1.5 m 處減少 71.1%。綜合以上結果得知，檉柳防風林對鹽霧之防治效果極佳，無論北方或東方，防風林下比空曠地減少鹽分含量 58.0～84.2%。

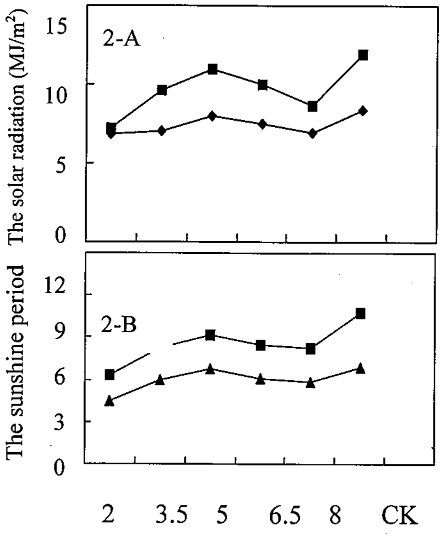


Fig.2. Changes in solar radiation and sunshine hour per day at different distances under windbreak. —▲—Autumn crops, —■—Spring crops.

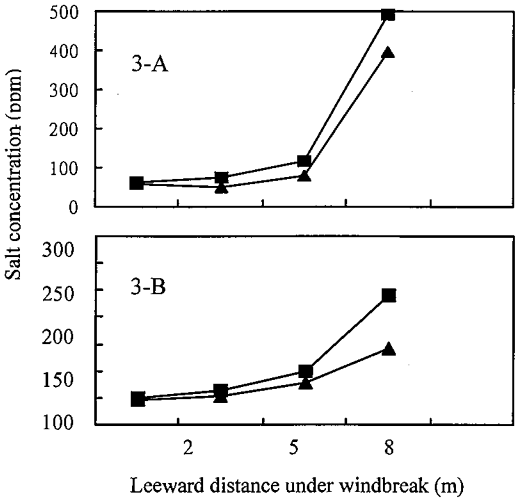


Fig.3. Changes in salt concentration of air measured at different distances under windbreak. —■— 1.5 m height above the surface of the windbreak, —▲—0.5 m height above the surface of the windbreak

(二)防風林下不同距離對越瓜產量及品質之影響

1.越瓜

越瓜在澎湖地區大多加工製成酸瓜，以〝酸瓜魚頭〞爲當地一道佳餚，深受觀光客之青睞。由表 1 結果得知，秋作欉柳防風林下背風面不同距離，對果實之產量影響大，以 5 m 處最優平均產量每分地 697 公斤，比空曠地增產 170%。4 m 處次優增產 116%。 3 m 及 6 m 分別增產 101%及 124%。春作以 5 m 處最優增產 5%，6 m 處次優增產 3%，7 m 處第三，增產 2%，但 2、8 及 9 m 處均比空曠地差。由圖 4-A 之越瓜產量迴歸分析中得知，防風林下背風面不同距離與春秋作越瓜之果實產量呈二項式曲線關係。顯示防風林下 2、8 及 9 m 處，日照及日射量有不足之現象，故產量較低。

2.稜角絲瓜

稜角絲瓜爲澎湖地區重要瓜類蔬菜之一，今由表 2 中得知，秋作防風林下稜角絲瓜之產量均比空曠地增產 11～143%，其中以 5 m 處產量最高。春作亦以 5 m 處最優，比空曠地增產 22%，6 m 次優增產 8%，7 m 增產 7%，4 m 處增產 6%，6 m 處增產 4%，但 2、8 及 9 m 則較空曠地差。稜角絲瓜之產量經迴歸分析，由圖 4-B 中得知，防風林下背風面距離與果實產量呈二項式曲線關係，顯示防風林下 2、8 及 9 m 處，日照有不足之現象，故產量較低。

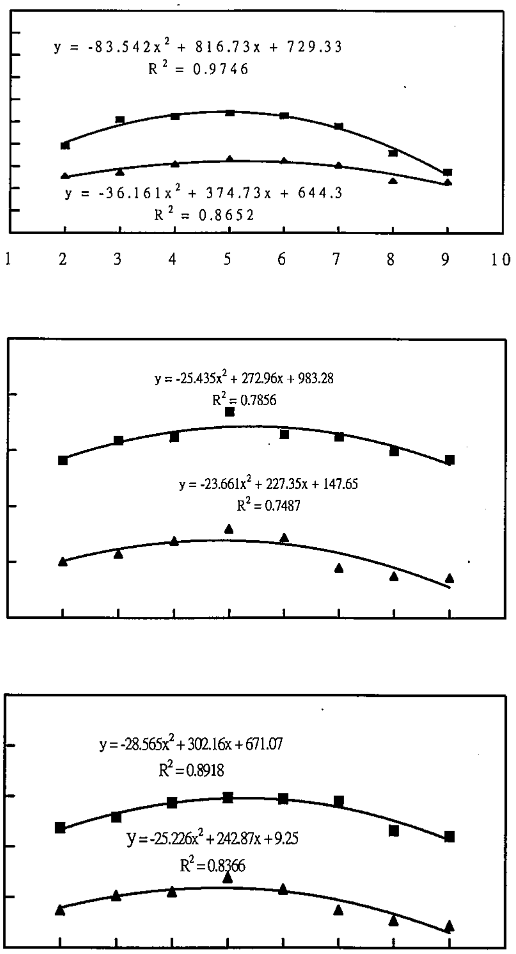


Fig.4. Effects of leeward distance under windbreak on the yield of gourd (4-A: oriental pickling melon; 4-B: loofah; 4-C: cucumber. ▲ Autumn crops, ■Spring crops).

3.小胡瓜

由表 3 結果中得知，秋作防風林下任何距離種植小胡瓜，均比空曠地之果實產量高，平均增加 43～106%，其中以 5 m 處之產量最高。平均產量每分地 1668 公斤，春作防風林下以 3、4、5、6、7 m 處均比空曠地優，平均增產 2～8%，其中以 5 m 處最優，平均每分地達 2699 公斤。以 2、8 及 9 m 處均比空曠地差。小胡瓜產量經迴歸分析由圖 4-C 中得知，防風林下背風面距離與春秋作小胡瓜之產量呈二項式曲線關係，顯示防風林下 2、8 及 9 m 處，日照不足，影響產量。綜合以上結果得知，檉柳防風林下秋冬季生產瓜類作物優於空曠地，春作則以防風林下 3、4、5、6、7 m 處較優，2、8 及 9 m 處較差。

Table 1. The effects of leeward distance under Athel tamarisk windbreak on the yield and quality of oriental pickling melon from 2002 to 2003*.

distances (m)	Fruit weight (g)	Fruit length (cm)	Fruit width (cm)	Salable** Yield (kg/0.1ha)	Index (%)	Fruit weight (g)	Fruit length (cm)	Fruit width (cm)	Salable Yield (kg/0.1ha)	Index (%)
2m	192	14.0	4.5	370	143	239	16.6	4.9	1186	83
3m	239	15.2	4.9	518	201	249	22.9	5.8	1430	100
4m	224	15.0	5.1	558	216	345	18.9	5.2	1438	101
5m	238	17.4	5.0	697	270	331	19.0	5.1	1486	105
6m	198	14.1	4.6	579	224	319	18.4	5.1	1475	103
7m	150	12.7	4.6	376	146	303	18.3	5.6	1450	102
8m	169	13.5	4.4	275	106	237	18.8	4.5	1165	82
9m	110	13.5	4.8	263	101	260	18.2	4.8	1108	78
CK***	228	14.9	4.5	258	100	411	20.5	5.4	1428	100

*The planting date of autumn crops : 1 Oct. 2001; Spring crops: 27 Mar. 2002.

** The length per fruit was above 15 cm.

*** The oriental pickling melon grew under 60% web in autumn crops, but grew under open field in spring crops.

Table 2. The effect of leeward distance under Athel tamarisk windbreak on the yield and quality of loofah from 2002 to 2003*.

distances (m)	Fruit weight (g)	Fruit length (cm)	Fruit width (cm)	Salable** Yield (kg/0.1ha)	Index (%)	Fruit weight (g)	Fruit length (cm)	Fruit width (cm)	Salable Yield (kg/0.1ha)	Index (%)
2m	191	25.4	3.8	502	135	264	28.0	5.2	1411	93
3m	249	34.7	4.6	573	175	287	27.0	5.5	1589	104
4m	189	27.0	3.7	690	211	330	27.7	5.5	1617	106
5m	208	30.5	4.1	797	243	337	29.4	6.1	1850	122
6m	191	22.5	3.1	717	226	337	28.7	5.7	1645	108
7m	186	22.0	3.1	445	136	318	28.5	5.8	1623	107
8m	185	21.0	3.0	379	116	301	28.4	5.5	1495	98
9m	182	23.5	4.5	362	111	248	27.1	5.5	1423	94
CK	183	22.3	4.3	327	100	331	29.3	5.6	1514	100

*The planting dates for autumn crops was Oct. 1, 2001, and for Spring crops was Mar 27, 2002.

** The length per fruit was above 20 cm.

***The loofah grew under 60% web in autumn crops, but grew under open field in spring crops.

Table3. The effects of leeward distance under Athel tamarisk windbreak on the yield and quality of cucumber from 2002 to 2003*.

distances (m)	Fruit weight (g)	Fruit length (cm)	Fruit width (cm)	Salable** Yield (kg/0.1ha)	Index (%)	Fruit weight (g)	Fruit length (cm)	Fruit width (cm)	Salable Yield (kg/0.1ha)	Index (%)
2m	126	20.9	2.9	1285	159	138	21.2	3.1	1960	78
3m	125	20.6	2.9	1369	169	133	21.4	3.1	2552	102
4m	126	20.9	2.9	1554	192	125	31.4	3.1	2624	105
5m	124	20.3	2.9	1668	206	129	21.4	3.1	2699	108
6m	123	19.6	3.0	1626	201	133	21.5	3.0	2635	105
7m	112	19.0	2.9	1530	189	123	21.0	2.9	2519	101
8m	111	16.8	2.8	1184	147	113	20.2	3.0	1800	76
9m	111	17.2	2.8	1157	143	117	20.3	3.0	1376	55
CK	109	17.7	2.8	808	100	127	21.2	3.0	2502	100

*The planting dates for autumn crops was Oct. 1, 2001; and for spring crops was Mar. 27, 2002.
** The length per fruit was above 10cm.
***The loofah grew under 60% web in autumn crops, but grewing under open field in spring crops.

四、結語

澎湖地區地理環境特殊，農田種植檉柳防風林，不但可防止東北季風及鹽霧之侵襲，週年生產農作物，增進離島農民之收益，更可綠美化生態環境，定砂及涵養水源，應積極加強推廣栽培。

五、誌謝

本試驗承 91 農科-1.1.1-高-K3(8)之經費支持，得以順利完成，謹致謝忱。試驗期間承分場同仁柯信義、蔡秋髭、蘇秋梅、吳梅春及陳寶珠等之鼎力幫忙，特此一併致謝。

六、引用文獻

甘偉航。1965。防風林阻遏風速功能之調查研究。p.1-27。台灣省林業試驗所報告第 117 號。

甘偉航。1966。海岸耕地土壤之中鹽分含量與防風林之關係及其對於作物產量之試驗影響。p.1-48。台灣省林業試驗所報告第 141 號。

甘偉航、陳財輝。1987。臺灣防風林之經營。現代育林 3(1)：3-25。

甘偉航、陳財輝。1987。臺灣防風林之營造。現代育林 3(2)：43-57。

甘偉航、陳財輝。1988。澎湖之防風林。現代育林 4(1)：32-36。

江永哲、李遠慶。1974。現存耕地防風林之功效探討(Ⅰ)密度對風速之影響。中華水土保持學報 5(1)：1-25。

江永哲、李遠慶、陳文福。1977。現存耕地防風林之功效探討(Ⅱ)風口對風速之影響。中華水土保持學報 8(1)：100-110。

江永哲。1977。現存耕地防風林之功效探討(Ⅲ)枝下高對風速之影響。中華水土保持學報 8(2)：64-77。

江永哲。1977。現存耕地防風林之功效探討(IV)林帶端對風速之影響。中華水土保持學報 8(2)：105-114。

江永哲、黃隆明、邱啓芳。1988。澎湖海岸防風構造物之研究。(Ⅰ) 海岸防風林與防風牆之防風防鹽功效比較試驗。中華水土保持學報 19(1)：3-27

周國隆。1995。澎湖耕地防風宜行農林混植。高雄區農業專訊 14：26-27。

周國隆。1999。澎湖農林混植之研究(Ⅰ)欖柳防風林高度對落花生與甘藷生產之影響。中華農學會報 1（1)：75-88。

姜善鑫。1990。防風林對農作物的影響。農藥世界 88：85-86。

陳政競。1982。三種欖柳耐鹽性之比較研究。國立臺灣大學森林學研究所造林組(論文)，臺北市。

黃隆明、江永哲。1989。澎湖海岸防風構造物之探討(III)咾咕石防風牆對防風及防鹽功效之研究。農林學報 38(1)：31-48。

游繁結。1982。海岸林帶厚度對林後減風功效之風洞試驗。農林學報 31(1)：99-127。

劉榮堂。1987。無葉欖柳之育林。現代育林 3(1)：69-70。

薛建輝、熊文愈。1997。混農林業在中國農村持續發展中的作用與優化模式。p.449-454。1997 海峽兩岸森林生物技術及環境變遷對森林生態系的影響研討會論文集。

蔡金池。1996。澎湖地區鹽風之農業災害調查(Ⅰ)防風體對鹽分及微氣候之影響。p.169-180。農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯。楊純明，主編。臺灣省農業試驗所，臺中縣。

Karim, A. B., P.S. Savill and E.R. Rhodes. 1991. The effect of young *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit hedges on the growth and yield of maize, sweet potato and cowpea in an agroforestry system in Sierra Leone.

Kotschi, J. 1993. Agroforestry for soil fertility maintenance in the communal land of Zimbabwe's semi-arid areas. p.C77-89. *In:* Extension and techniques for land and water management for crop production in the semi-arid environment (with application for the low resource level communal farmer). SADC-L&WMRP workshop held at Harare, Zimbabwe, 22-26 February 1993.

Nadagouda, V. B.; K. Manjappa, B.K. Desai, S.B. Kalaghatagi and C.V. Patil. 1994. Effect of management practices of eucalyptus tree rows on the yield of sunflower and groundnut. Karnataka J. Agric. Sci. 7(2):133-136.

Schroth, G., P. Balle and R. Peltier. 1995. Alley cropping groundnut with *Gliricidia sepium* in Cote d'Ivoire: effects on yields, microclimate and diseases. Agroforestry Systems 29(2):147-163.

Change of Microclimate under Athel Tamarisk Windbreak and Its Effect on the Production of Gourd Crops in Penghu Area

Ching-Mei Han
Penhu Branch Station, Kaohsiung District Agricultural Improvement Station, COA, Penhu, Taiwan, ROC
E-mail: penbran@ms38.hinet.net

ABSTRACT

For protecting the production of gourd crops, which are important vegetables in Penhu area, Athel tamarisk was planted as windbreak purpose. The objectives of this study were to investigate the effects of Athel tamarisk windbreak on the microclimate and the production of gourd crops. The experiment results from 2001 to 2002 were summarized as follows. The average air temperature under the windbreak of Athel tamarisk was 0.5 ℃ higher than that under the open field, and the wind speed and the amount of evaporation decreased 72.4% and 35.9%, respectively. The effect of windbreak on salt concentration of air varied depending upon the height above the gourd. At the height of 0.5 m, the average salt concentration decrease 80.3%, and it decreased 87.2% at the height of 1.5 m. On the leeward of Athel tamarisk windbreak, it was found that both solar radiation and sunshine hour per day were lower than that under the open field. Yields of gourd crops grown under the Athel tamarisk windbreak were increased than that grown under the open field in autumn season. In spring season, the yields were increased at the 3, 4, 5, 6 and 7 m from the windbreak, but were decreased at the 2, 8, and 9 m from the windbreak relative to those grown under the open field.

Key words: Penhu area, Athel tamarisk windbreak, Cucumber, Loofah, Oriental pickling melon.

農業氣象災害調查與防護技術
茶樹旱害與焚風害防護方法
113-126, 2003

茶樹旱害與焚風害防護方法

鄭混元
行政院農業委員會茶業改良場臺東分場
E-mail：tstt215@myagro.nat.gov.tw

摘要 ---------- 114

一、前言 ---------- 114

二、旱季與非旱季之氣象變化分析 ---------- 115

三、茶樹旱害調查 ---------- 116

四、茶樹旱害防護措施 ---------- 118

五、焚風害之氣象變化 ---------- 120

六、茶樹焚風害調查 ---------- 121

七、茶樹焚風害防護措施 ---------- 123

八、結語 ---------- 124

九、誌謝 ---------- 124

十、引用文獻 ---------- 124

ABSTRACT ---------- 126

茶樹旱害與焚風害防護方法

鄭混元
行政院農業委員會茶業改良場臺東分場
E-mail：tstt215@myagro.nat.gov.tw

摘要

本文係綜合歷年來茶樹（*Camellia sinensis*（L.）Kuntze）乾旱與焚風災害田間調查及防護措施試驗。由結果顯示，花東地區旱季與非旱季之氣象變化呈現明顯的差異，花蓮縣瑞穗茶區在第二次夏茶常發生茶樹旱害，以青心烏龍受害最嚴重。由品種間的產量變化評估茶樹對旱季之反應，發現臺茶 17 號及香橼具較強的耐旱力，而臺茶 5 號、青心烏龍及水仙其耐旱力較弱，因此在容易發生旱害之茶區應選擇種植耐旱品種。茶樹行間敷蓋或掩埋稻殼確可改善旱害之土壤環境障礙，包括土壤壓實、保水力及降低土壤溫度。春、夏及秋茶芽葉生育期均有焚風發生，以夏茶發生比率最高，達 49%。茶芽受害癥狀以葉片下垂、葉緣、葉尖、節間乾枯燒焦、葉片皺縮、落葉、枝條褐化、茶菁老化最明顯。由相關分析顯示，茶芽受害程度與最大風速及焚風持續時間有極顯著的正相關。以夏秋颱風誘發之焚風茶樹受害較嚴重，例如溫妮颱風誘發之焚風；由季風或強勁氣流引發之焚風，茶芽受害較輕微。焚風發生時可利用噴水降低茶園溫度及提高相對濕度，減輕茶芽受害程度，而獲得較佳的茶菁品質。

關鍵詞：茶樹、乾旱、焚風、防護方法。

一、前言

所謂旱害，乃是由於植株的根部吸水不足導致植物的細胞或組織失去膨潤的狀態，而達到永久性的凋萎。永久性的凋萎對植株的影響甚大，嚴重時亦可能造成植株的死亡。造成植株吸水不足的原因，主要是由於土壤中水分含量減少或土壤中溶液濃度增加所致（朱，1985；林及洪，1987）。乾旱災害位居臺灣地區農業氣象災害中的第三位，僅次於颱風及水患。在 1945-1994 年的五十年間，乾旱災害的估計損失約新台幣 46 億 4 仟萬元，全期年發生頻率 64％（楊，1996）。東南部茶區每年十月至次年二月爲明顯旱季會影響春冬茶生產外，若梅雨不足，颱風帶來雨量又少且集中於七月下旬，常會造成夏季旱害。有時候冬季也有缺水現象，雖然不致於造成茶樹旱害，但也會影響冬茶及早春茶的生產。近年來由於全球氣候變遷，異常氣候明顯增加，花東茶區陸續發生旱害，由臺灣農業年報統計資料得知，1991、1996 及 1998 年花蓮縣瑞穗茶區及臺東縣鹿野茶區均發生大小規模不一之茶樹旱害，受害面積達數百公頃，以花蓮縣瑞穗茶區

之青心烏龍茶園受害最嚴重。陳及馮（1994）於 80 至 82 年調查全省 25 處主要茶區茶樹天然災害發生情形，以旱害發生的次數最多，範圍最廣，災情最長，茶樹受害程度亦最爲嚴重。茶樹旱害受害癥狀首先爲生長停止形成對口芽，隨著乾旱程度加重，頂部幼嫩葉片開始失去光澤並逐漸萎凋黃化；葉片則多整葉直接褐化枯死。葉片在枝條上枯死之順序爲由上部向下部發展，各枝分別演變，終至地上部全部枯死（王及段，1978；陳及馮，1994；農林廳，1995）。旱害發生初期，農民往往低估了乾旱程度而造成極大的損失，所以平時就要做好茶園防旱措施，從栽培管理來改善茶園環境障礙，進而提高茶樹的耐旱能力，達到事前預防之效果，減少受害損失。

焚風爲一種局地性乾熱風，其發生的原因係由於溫濕之空氣受山嶺的阻梗，被迫上升而冷卻，水汽凝結成雲雨，而降在迎風面的山坡上，再漸冷卻而下降。所以越過山嶺後而下降之空氣遂成乾燥空氣，再因下降後受壓力壓縮而溫度增加，顯著地比鄰近空氣溫度爲高且乾燥，此種下降氣流所成之風，特稱焚風（邱，1983；徐，1989；郭及楊，1982）。東岸氣候區茶園主要分佈之範圍，其縱向分佈以花東縱谷較偏北之花蓮縣瑞穗鄉及玉里鎮向南延伸至臺東縣之鹿野鄉、卑南鄉及太麻里鄉，在其他鄉鎮亦有零星分佈。垂直分佈由海拔數十公尺的平地或丘陵地至海拔 1250 公尺的山地皆有茶園分佈。由於位處中央山脈東麓，每當颱風強勁及旺盛之西南氣流吹襲下，常出現炎熱的焚風現象。焚風發生時不但氣溫異常偏高，空氣相對濕度也會明顯下降，往往造成作物因高溫低濕強風之逆境衝擊而脫水枯萎。焚風害爲最不可預測且一年發生次數最多，郭及楊（1982）指出 1959-1979 年間侵襲臺灣之颱風中約有 71%在台灣地區誘發焚風。雖然有時僅造成輕微的影響，如芽葉生長減緩、茶芽老化粗硬、茶菁品質不佳；但也可能引起嚴重的芽葉受害，葉片紅變脫落、芽葉枯焦、全季無法收穫。即使茶芽已屆適採期，在焚風期間勉強採收，或茶菁僥倖避過風害，送到製茶工廠後製茶過程也會受到高溫低濕環境的影響，而無法順利進行，以致成茶品質低下（陳，1990；鄭，1997；魏，1991），有待加以重視及預防，以免造成極大的損失。

二、旱季與非旱季之氣象變化分析

從 1991 至 2002 年調查東南部茶區旱害發生情形，將有無發生旱害區分爲旱季與非旱季，由表 1 可看出旱季之年份爲 1991、1992、1996、1998 及 2002 年，合計發生 5 次。非旱季之年份則包括 1993、1994、1995、1997、1999、2000 及 2001 年。由此顯示旱害發生非常頻繁，因此有必要探討旱季與非旱季之氣象因子變化差異，作爲旱害預防之參考。旱害發生期間係指茶樹開始出現受害癥狀至旱象解除之時間。由資料分析結果顯示，旱季之累積降雨量明顯減少，僅有 1-39 mm；比歷年平均值減少 55.9-276.3 mm，而以 1991 年降雨量最少，僅有 1 mm。日照時數也比歷年平均值增加 41.8-50.4 hrs。同時旱害發生期間之最高氣溫也有明顯偏高之趨勢，達 30.5-33.8 ℃（表 1）。由非旱季之 5-7 月份之氣象變化顯示，每月之累積降雨量維持在 100 mm 以上，最高氣溫僅於 7 月份有較高之趨勢，其雨量分佈較平均，並沒有長期不下雨之現象發生。但於旱季由於長期未降雨造成茶樹無法忍受之程度，以致枝葉開始出現受害癥狀，若持續缺水更導致災情迅速擴大。旱害發生前之 2 至 3 旬降雨量即出現明顯偏低之趨勢，累積降雨量爲 20-40 mm，比歷年平均值低 100-200 mm（表 2）。因此每年進入旱季之前，即 4 月就要開始注意降雨情形及分佈，此段觀察期只有 20-30 天，

若持續只有零星降雨量，呈現偏低之現象，就要於災害發生前做好各項旱害因應措施來預防夏季旱害，以降低乾旱造成之茶樹嚴重受害。也要維持茶樹對乾旱之長期忍受力，等待降雨解除旱害。從茶樹枝葉出現受害癥狀至旱象解除，由不同年度旱害發生期間來看，2002年旱害期間較短，爲 20 天，1992 年長達 45 天，由歷年資料來看以 30 天爲一常態值。因此如何延長茶樹對旱害之忍受力，也爲旱害預防不可忽視之課題（鄭，2003）。

Table 1.Climatic changes of drought periods at Juisai tea district in the different years.

Year	Duration of drought	Air temperature Mean	Maximum	Minimum	Rainfall accumulation (mm)	Sunshine hours accumulation (hr)
		----- (℃) -----				
1991	6/11-7/10	28.6 (+1.90)	33.8	24.3	1.0(-117.9)	160.0(+44.0)
1992	7/1-8/10	27.2 (+0.10)	32.7	22.9	39.0(-276.3)	281.0(+43.0)
1996	6/21-7/20	26.6 (-0.60)	32.5	21.7	23.0(-175.2)	241.3(+41.8)
1998	7/1-7/31	27.6 (+0.23)	33.6	22.8	9.7(-209.8)	250.0(+42.7)
2002	4/21-5/10	24.8 (+2.05)	30.5	20.9	6.4(-55.9)	117.1(+50.4)

Table 2. Climatic changes of the 20-30 days before drought periods occurred at Juisai tea district in the different years.

Year	Duration	Air temperature Mean	Maximum	Minimum	Rainfall accumulation (mm)	Sunshine hours accumulation (hr)
		----- (℃) -----				
1991	5/11-6/10	26.2 (+2.03)	32.1	22.3	40.4(-164.0)	241.0(+143)
1992	6/1-6/20	24.9 (-0.40)	30.1	21.6	132.5(-94.6)	81.0(+2.00)
1996	6/1-6/20	27.0 (+2.10)	32.6	22.5	23.0(-116.0)	161.4(+45.9)
1998	6/11-6/30	26.4 (+0.05)	32.1	22.3	28.1(-91.9)	145.5(+39.6)
2002	3/21-4/20	22.3 (+1.97)	27.6	18.6	40.7(-26.3)	109.4(+27.8)

三、茶樹旱害調查

（一）夏季旱害品種間產量差異比較

1996 年夏茶生長期間，由於雨量稀少，只有 1.5 mm，僅佔全年降雨量的 0.07%，降雨日數也只有 2 日，爲明顯的乾旱季節。1995 及 1997 年之降雨量分別達 323 及 173 mm，佔全年雨量之 18.8 及 18.4%，降雨日數分別有 15 及 24 日，同時芽葉生長期間之累積日照時數、蒸發量也比 1996 年低，兩年爲沒有發生乾旱之季節。由於 1996 年芽葉生長期間平均氣溫偏高，爲 29.6℃，最高氣溫亦達 34.2℃，累積日照時數及蒸發量也偏高，分別爲 492.1 hr 及 349.5 mm（鄭，1999）。由此顯示年度間旱季與非旱季之氣象因子變化確實有明顯的差異，因此於夏茶季節調查不同品種對旱季與非旱季之反應。結果顯示旱季茶樹品種間產量以臺茶 1、4、17 號、香橼及 Fkk-22 爲最高；臺茶 10 號、青心烏龍、武夷及藪北產量較低，而臺茶五號因乾旱造成萌芽率低，以致沒有產量可供採收。非旱季品種間產量也有差異，1995 年以臺茶 7、8、17 號及香橼之產量爲最高，臺茶 10 號及青心烏龍產量則爲最低。1997 年以臺茶 11、15、17、18 號有較高的產量，青心烏龍產量爲最低。由此顯示，旱季與非旱季均維持高產之品種包括臺茶 17 號及香橼，品種間以青心烏龍產量爲最低。由旱季與非旱

季產量差異比較結果顯示，旱季無明顯減產之品種包括臺茶 1、4、17 號、香櫞及 Fkk-22；而臺茶 7、8、9、10、11、18 號及水仙則有明顯減產之趨勢(表 3)。綜合上述可知，品種間以臺茶 17 號及香櫞較具耐旱能力，而臺茶 5 號、青心烏龍及水仙耐旱能力較弱(鄭，2003)。

Table 3. Tea shoot yield of different varieties at the drought and non-drought seasons.

Leaf shape	Variety	Drought season 1996 (g/plant)	Yield increase or decrease		Non-drought season	
			D/ND1	D/ND2	1995	1997
			----- (%) -----		----- (g/plant) -----	
Large type	TTES No.1	264	+28	+22	206	216
	TTES No.2	108	-3	-36	111	167
	TTES No.3	101	-25	-26	136	138
	TTES No.4	179	+24	+2	144	175
	TTES No.7	91	-67	-39	278	225
	TTES No.8	151	-45	-28	274	209
	TTES No.9	98	-44	-58	175	232
	TTES No.10	43	-35	-70	65	141
	TTES No.11	136	-38	-48	219	258
	TTES No.18	103	-29	-62	144	267
	Fkk-22	210	+46	-5	144	221
	Shiang Yuan	313	+5	+52	298	206
Small type	TTES No.6	101	-11	-40	114	170
	TTES No.12	149	-32	-35	219	228
	TTES No.13	129	-25	-3	173	134
	TTES No.14	128	-7	-42	138	220
	TTES No.15	149	+46	-42	102	254
	TTES No.16	180	-28	-23	249	234
	TTES No.17	360	+23	+4	293	347
	Wu Yi	84	-29	-31	117	121
	Yabukita	80	-39	-39	131	132
	Chin-Hsin Gan Tzy	111	-21	-36	141	174
	Shy Jih Chuen	99	-29	-34	139	150
	Chin-Hsin Oolong	69	-29	-35	97	106
	Chin-Hsin Dapan	128	-38	-10	207	143
	Shoei Shian	95	-45	-43	172	168

D: 1996; ND1: 1995; ND2:1997; without shoot plucking of TTES No.5 in 1996.

（二）茶樹旱害及其影響因子調查

由歷年（1991-2002）東南部茶區旱害調查結果顯示，花蓮縣瑞穗茶區常發生旱害且受害嚴重，1991、1992、1996、1998 及 2002 年均發生旱害。旱害發生時期多集中於第二次夏茶，6 月中旬至 7 月下旬期間。1996 及 1998 年災情最嚴重，地方品種之青心烏龍枯死率高達 40％。臺東縣鹿野茶區於 1992 及 1996 年發生旱害，青心烏龍枝葉受害率分別爲 10 及 20％（鄭，2003）。表 4 爲 1998 年花蓮縣瑞穗茶區夏季茶樹旱害及其影響因子調查，結果顯示不同品種受害率有明顯的差異。青心烏龍、大葉烏龍及四季春平均受害率達 60%以上，受害嚴重之茶園甚至高達 90％；臺茶 12 號及臺茶 13 號平均受害率分別爲 37 及 20％；總平均受害率則達 51%。茶樹旱害發生原因除了由

氣候逆境直接影響外，缺乏水源及栽培管理不當也是影響因子之一。茶園缺乏中耕，土壤硬度較高以致茶樹根系無法往下伸長，根系多集中於表土。當遭遇乾旱時，由於氣溫高，日照強，蒸發量大，土壤水分缺乏，根部吸收水分減少，茶樹枝葉逐漸褐化乾枯，葉片下垂枯萎易脆裂。若持續乾旱，枝條上葉片逐漸掉落，新芽無法萌發，待旱象解除茶樹才逐漸恢復生機，至秋茶樹勢稍有回復。但因旱害以致部分茶樹枯死或整株茶樹部分枝條枯死，造成缺株以致園相不整齊，進而影響秋茶的生產，也間接造成冬茶的減產（鄭，2003）。鄭（1999）分析不同年度間氣象因子之差異造成夏季乾旱季節與非旱季節之芽葉農藝性狀對茶樹產量之影響，指出樹冠為相當重要的正面影響因子，在旱季百芽重及萌芽密度也是很重要的影響因子。瑞穗茶區茶樹冠面較小，樹勢呈現衰弱之現象，也是加速旱害的因素之一。陳及馮（1994）調查旱害發生情形也指出受害嚴重茶樹普遍有根系生長不良之現象，茶園管理不良也導致土壤壓實情形嚴重等不良物理性質會限制根系生長，均可能使茶樹耐旱能力減弱。

Table 4. Drought injury and its related factors on tea tree at Juisui tea district of Hualien Hsien in 1998.

Variety	Tree height (cm)	Tree canopy	Soil hardness (Kg/cm^2)	Soil water content A (%)	Soil water content B (%)	Organic matter A (%)	Organic matter B (%)	SoilpH A	SoilpH B	Damage ratio (%)
TTES No.12	99	99	18.9	10.9	13.9	2.33	1.81	4.16	4.15	37
TTES No.13	63	95	19.3	8.1	15.1	1.71	1.14	4.12	4.24	20
Chin Hsin Oolong	66	90	22.5	8.5	15.5	1.98	1.23	4.39	4.37	66
Dah Yeh Oolong	61	87	18.1	8.3	16.2	1.90	1.17	4.22	4.30	62
Shy Jih Chuen	71	104	24.3	7.7	13.1	1.88	1.38	4.26	4.19	70
Mean	72	95	20.6	8.7	14.8	1.96	1.35	4.23	4.25	51

A：Surface soil（0-20 cm）；B：Subsoil （20-40 cm）.

四、茶樹旱害防護措施

（一）茶樹行間敷蓋及掩埋稻殼之防旱措施

1998 至 2000 年於臺茶 12 號茶園進行茶樹行間敷蓋及掩埋稻殼之防旱措施，試驗結果顯示，稻殼敷蓋或掩埋區有較高的土壤水分含量，而且於灌溉或雨天後具有較佳的保水力。同時具有改善土壤物理性的效果，其土壤硬度均較對照區為低，不論雨季或旱季均有同樣的趨勢。以土壤穿刺阻力計測定也獲得同樣的結果，對照區呈現較高的阻力，即土壤的壓實程度較嚴重，同時也有較高的土壤水分張力。除了對土壤水分的影響外，土壤溫度的變化也有明顯的差異。由土壤溫度之日或月變化顯示，敷蓋或掩埋稻殼區之土壤溫度變化，在夏季具有降溫的效果，冬季則有保溫作用。以稻殼敷蓋區較明顯，而且日變化振幅較小，維持較穩定的狀態。敷蓋及掩埋區之芽葉產量高於灌溉區及對照區(表 5)，由此顯示茶園敷蓋的重要性。不同季節處理間之芽葉產量以夏茶及晚冬茶之稻殼敷蓋或掩埋區之產量高於無敷蓋區，年度間約呈相同之趨勢(鄭，2003)，顯示在缺水之茶季，茶園敷蓋的效果也相對提高。顏等(1983、1984)指出施用稻殼，隨犁田翻入土中，稻株生長和稻穀產量獲效益，土壤結構也改善，可增加土壤和稻體葉片矽、鉀含量及增加抵抗倒伏性。鄭(1998、2001)於茶園施用稻草敷蓋，於春夏季分別可提高及降低土壤溫度，特別於乾旱時期實施地面敷蓋則可保持土壤水分，促進茶芽生長，而於冬季具保溫保水作用。施(1994)也指出深耕加上敷蓋增加表層

土壤的水分含量及底層土壤的空氣量有利於枇杷之生育，深耕僅單獨增加底層土壤的含空氣量，而敷蓋主要是增加表土之含水量，故深耕及敷蓋有利於根之伸長，敷草有減少地溫變化之效果。由上述可知，藉由茶樹行間敷蓋或掩埋稻殼確可改善旱害之土壤環境障礙，包括土壤壓實、保水力及降低土壤溫度。

Table 5. Effect of rice husk mulching and incorporation on the tea tree row to the shoot yield of TTES No.12.

Year	Treatment			
	A	B	C	D（CK）
	(g/plant)			
1998	244ab	253a	—	238b
1999	243a	241a	232a	238a
2000	211b	230a	197c	207bc

Values followed by the same letters are not significantly at α=0.05; A: rice husk mulching and no-irrigation; B: rice husk incorporation and no-irrigation; C: weekly irrigation and no-mulching; D: no-mulching and no-irrigation（CK）.

(二)茶園地表敷蓋處理對夏冬茶乾旱期產量之影響

在東部茶區於夏冬兩季節茶園需特別注意水分的供給，一方面於夏茶季節需有充足水源灌溉以免茶樹因缺水而枯死；另於冬茶季節氣溫較低，茶園輕微缺水時茶樹不致枯死；但會影響萌芽及萌芽後茶芽生長，對產量及品質有極大的影響。1994 至 1997 年之夏冬季節於臺茶 12 號茶園進行茶園地表敷蓋處理對夏冬茶乾旱期產量之影響研究，試驗結果顯示，年度間同季節之氣候變化有明顯的差異；而且各敷蓋區之微氣候變化也有差異。夏冬季節地面敷蓋分別有降溫及保溫之效果，土壤水分含量也較高，尤其於乾旱季節最為明顯。由表 6 可看出以稻草敷蓋區效果最好，而且夏茶或冬茶均有明顯的增產效果，旱季減產也較其他敷蓋區低(鄭，1998)。蔡及朱(1983)於茶園施谷殼敷蓋，春季可提高土壤溫度，特別於乾旱期實施地面敷蓋可保持土壤水分，促進茶芽生長(Othieno and Ahn, 1980；Othieno, 1980)。馮等（1996）也指出冬季提早剪枝配合地表敷蓋稻草可使翌年春茶萌芽期提早，及使萌芽生長更佳（徐及吳，1968），而且對水土保持及地力之維持也有良好的效果(徐等，1997)。

(三)其他防護措施

旱害之其他防護措施包括加強深耕、樹冠面遮蔭設施、減少使用除草劑、合理化施肥、適量補充有機肥及夏季留養枝條以培養樹勢及樹形等管理工作，隨時注意旱季之氣象變化，充實灌溉設施及容易發生旱害之茶區應選擇種植耐旱的品種。

Table 6. Effect of different mulching treatments on the shoot yield of TTES No.12 for summer and winter tea.

Tea season	Year	Rainfall	Treatment			
			BA	RS	PE	CK
		(mm)	(g/plant)			
Summer	1995	393	198abc	200abc	225a	214ab
	1996	15	140e	172cd	148de	140e
	1997	166	186bc	223a	209ab	205ab
Winter	1995	75	100de	99de	90e	97de
	1996	64	115cd	127c	121cd	111cde
	1997	355	220b	266a	240b	242b

Values followed by the same letters are not significantly at α=0.05; BA: vegetation bahia grass; RS: rice straw mulching; PE: black PE mulching; CK: no-mulching.

五、焚風害之氣象變化

臺東茶區主要分佈之地理位置，包括鹿野高台、美農高台、龍田台地及太麻里金針山，位處於花東縱谷及中央山脈東麓。由於受到地形影響，越過中央山脈之西風及西南風常易形成焚風，為季風或強勁氣流所引發，發生之季節多在 1 ～5 月春季梅雨前；而在夏、秋颱風所誘發之焚風現象，多集中於 7 ～9 月間，以沿東海岸北上路徑通過之颱風誘發頻率較高（邱等，1991；郭及楊，1982）。此二時期正值茶葉盛產期，因此春茶、夏茶及秋茶生育期及採摘期均可能受害。表 7 為 1989 至 1999 年各茶季發生比較明顯的焚風次數及其發生比率，焚風發生比率以春、夏及秋茶季較高，而其中夏茶季高達 49.2%，另早春及冬茶季也有焚風發生，分別為 12.7 及 3.2%。在焚風發生時，最明顯的氣象變化有（1）溫度劇升；（2）相對濕度劇降；（3）風向轉變；（4）風速增加；（5）降雨停止，其變化情形視焚風規模大小而異（邱等，1991；郭及楊，1982）。由 1989 至 1999 年焚風發生時之最高氣溫、最低相對濕度、焚風持續時間及最大風速分析結果顯示，颱風誘發之焚風比季風或強勁氣流所引發之焚風持續時間為長，氣溫也較高，且有較大的風速，以致平均受害等級較高，為 1.67。季風或強勁氣流之焚風現象受害等級較低，為 0.22（表 8）。歷年來焚風發生時之氣象變化，包括最高氣溫、最低相對濕度、最大風速及焚風持續時間與茶芽受害等級的相關分析，顯示茶芽受害等級與焚風持續時間及最大風速有極顯著的正相關。最高氣溫與受害程度也有正相關，但未達顯著。最高氣溫與最低相對濕度呈極顯著負相關（表 9）。顯示當焚風吹襲時氣溫愈高，相對濕度則愈低，更加突顯出焚風逆境現象。而當風速愈大及持續時間長以致芽葉蒸散作用迅速，且伴隨高溫低濕之氣候環境使芽葉失水更快導致茶芽受害（鄭，2002）。

Table 7. Numbers and ratios for foehn occurrence in different tea seasons from 1989 to 1999.

	Tea season				
Foehn	Early spring	Spring	Summer	Autumn	Winter
Number	8	14	31	8	2
Ratio（%）	12.7	22.2	49.2	12.7	3.2

Table 8. Changes of climatic factors by foehn induced by typhoon and monsoon or air-current.

Foehn	Duration of foehn (hrs)	Air Temperature (℃)	Relative humidity (%)	Maximum wind speed（m/s）	Degree of injury
Monsoon					
Mean	7.67	33.6	36.5	10.4	0.22
Maximum	35	40	66	24.3	2
Minimum	1	25.9	20	5.6	0
Typhoon					
Mean	12.8	35.3	40.6	24.9	1.67
Maximum	35	41	48	40.9	3
Minimum	3	29	27	5.1	1
Average	8.65	34	37.3	13.2	0.49

Monsoon n=51; Typhoon n=12.

Table 9. Correlation coefficients for climatic factors of foehn and tea shoot injury grade.

	A	B	C	D	E
A	1.0				
B	-0.057	1.0			
C	0.233	-0.390**	1.0		
D	0.375**	-0.106	0.185	1.0	
E	0.545**	0.152	0.219	0.647**	1.0

A: duration of foehn; B: air temperature; C: relative humidity; D: maximum wind speed; E: degree of injury; n=63.

六、茶樹焚風害調查

(一)焚風造成茶芽受害癥狀

經焚風吹襲之茶芽葉緣、葉尖及節間呈乾枯燒焦癥狀，受害較嚴重之葉片則有下垂之現象呈燒焦狀且皺縮，枝條乾枯且葉片掉落。茶芽受害程度除了焚風發生時期、強度及原因影響外，其他外在環境因子也會影響受害的程度，包括土壤水分境況、茶樹樹勢、芽葉生育期、地形、病蟲害等因素。若不利的環境因子增加時，往往會造成茶園（區）全面性受害，例如 1997 年 8 月 18 日溫妮颱風誘發之焚風現象，當時之氣候狀況爲氣溫偏高且日照強，土壤呈較乾燥狀態，因此茶芽受害情形更形嚴重；尤以美農茶區受迎風面影響，造成全面性受害，芽葉掉落枯焦，枝條褐化乾枯，以致無茶芽可供採收，茶農損失相當嚴重。茶園位於一片竹林下風處可能形成天然之防風牆而有防風之效果，以致茶芽受害較輕微，且無落葉現象。其次當茶樹遭受病蟲危害時，受害癥狀表現更加明顯，以致受害顯得更爲嚴重（鄭，1997）。眞木（1995）也指出防風林因有林木之蒸散作用，而有加濕的效果，蒸散作用又可降低溫度，因而減輕受害程度，植樹造林也可改善茶園微氣候。綜合以上所述，當茶芽受焚風吹襲時，由於溫濕度突然轉變，造成茶芽無法適應調節，因而受高溫乾燥逆境導致茶芽受害。其受害癥狀包括葉片下垂、葉緣、葉尖及節間乾枯燒焦、葉片皺縮落葉、枝條褐化、茶菁老化、茶芽生長緩慢等，爲便於調查，建議依其受害程度分成四個等級，無、輕微、中等及嚴重受害。其他作物方面如枇杷、釋迦，受害徵狀爲落花、落果、影響受粉率及果實脫水乾涸（邱，1994），水稻則造成白穗現象（徐等，1989；李，1999）。

(二)焚風對茶芽生育的影響

當茶芽遭焚風吹襲後隔一至二日即顯現受害癥狀，其生長較正常茶芽緩慢，芽葉水分含量也較低。因此葉片容易粗硬老化，無論由颱風或季風誘發之焚風現象，經焚風吹襲後第七天調查茶芽生育情形，均有同樣的趨勢。受害茶芽之百芽重、葉面積及生長速率均低於未受害茶芽，葉厚則呈現相反之趨勢(鄭，1997、2002)。由強風引起的機械性傷害，枝葉相互擦傷，葉片掉落，強風對於農作物不僅有機械性障害，還會引起生理上的障害，葉片因強風而損傷後，光合作用衰退，造成同化產物減少，植株生育受影響(邱，1983)。楊及朱(1985)也指出經吹風處理之水稻植株蒸散作用增加而失水過多，光合作用能力減少，地上部及地下部之生育受到抑制，葉綠素減少，葉片相對水分含量降低，新葉抽出亦受抑制。焚風的危害並非單純之強風危害，而有其特性，作物在乾旱時，特別在中午，旱田周圍有高溫乾燥之氣層，有點像熱乾風之特性(眞木，1995)。可知焚風是一種高溫而乾燥的熱風，當溫度愈高，濕度愈低時，焚風害愈嚴重。植株在乾燥強風下，生長速率受到限制，強風造成細胞水

化程度的降低，影響細胞的膨潤度，使細胞無法充分發育達到正常的形狀大小(朱，1990)。焚風之危害包括物理性傷害，及因作物體脫水引起之乾害，特別是在土壤水分含量少時危害會增大。作物會因激烈蒸散而失水，引起莖葉新梢之凋萎，嚴重時會枯死（邱，1983；眞木，1995）。受害茶芽之葉片水分含量降低，百芽重也呈較低之現象（鄭，1997）。水稻抽穗期遭遇焚風時會產生白穗，在台灣宜蘭、恆春等地發生（徐等，1989；李，1999、）。

(三)焚風對製茶品質的影響

1997 年溫妮颱風誘發焚風對製茶品質的影響，由不同茶區青心烏龍包種茶品質比較顯示，無論外觀、色澤、水色、香氣、滋味皆以美農茶區所製作之品質較劣於鹿野茶區，兩茶區有明顯的差異。雖然兩塊茶園之芽葉生長性狀差異也影響製茶品質之優劣，但焚風害之茶菁受害明顯已失去製作好茶的條件，鹿野茶區之茶菁較佳且受害極輕微，因此有較佳的製茶品質（鄭，2002）。茶菁受害會影響後續的製茶過程，特別是萎凋期間之芽葉水分變化，而水分含量會影響茶菁各部位內含物之轉化，對茶湯水色、香氣及滋味造成不同程度的影響（林及陳，1997）。除了茶區，甚至同一茶園所生產之原料優劣也會影響製茶品質，分別採摘受害與未受害茶芽製作紅茶、綠茶及包種茶，其品質也以未受害茶芽優於受害茶芽，諸如茶湯水色、外觀、色澤、香氣及滋味表現均不如未受害茶芽，而且葉底破裂，茶渣茶粉多。包種茶水色呈現較暗黃且有混濁現象，色澤不鮮明，外觀葉緣有破裂，滋味失去活性且苦澀(鄭，1997)。不論颱風誘發或季風引發之焚風現象，對製茶品質有相同之影響趨勢，即受害茶芽之製茶品質較差。魏(1991)也指出焚風期間之氣象變化也影響製茶環境，因此影響製茶過程之萎凋、攪拌及靜置過程，可能會造成茶芽失水不平均且變幅大以致製茶品質不佳。在高溫乾燥強熱風之環境下，芽葉水分管理更加困難。林及陳(1997)指出茶菁萎凋期間若急速失水會導致葉綠素破壞分解，茶葉內含物質轉化不足，以致成茶品質變劣。由上述結果顯示，焚風對製茶品質的影響，不但直接影響茶菁原料，也影響製茶所需之正常環境。因此環境控制之製茶技術對不良環境的改善，可進一步評估其實用性，尤其東部茶區氣候環境多變，災害性氣候頻繁，若能控制環境製茶，對茶葉品質的提升應有正面的影響。

(四)焚風對茶葉生產的影響及產製因應

由歷年調查焚風對茶葉生產的影響，以夏秋颱風誘發之焚風茶樹受害較嚴重，不但芽葉生育受影響，受害嚴重時甚至無茶可採收，當季茶幾乎沒有生產。以 1989 年莎拉颱風、1990 年楊希、亞伯颱風（陳、1990，魏、1991）及 1997 年溫妮颱風誘發之焚風爲例，對茶葉產製產生嚴重的影響，茶農放棄採收並進行修剪工作，當日也無茶農製茶，尤其在美農及太麻里茶區當季茶幾乎沒有採收（鄭，2002）。由於是颱風誘發之焚風現象，因此其受害因素並非全由焚風所造成，同時亦摻雜颱風風雨的影響。陳（1990）及魏（1991）曾評估美農及鹿野茶區受害減產比率，指出兩茶區均受影響，但美農茶區減產比率高於鹿野茶區，造成茶農極大的損失。鄭（2002）指出茶樹焚風害因發生原因而呈現不同的變化。由颱風誘發之焚風，不但芽葉受害嚴重，甚致枝條折斷乾枯，茶菁及製茶品質受影響，造成棄採或減產。季風引發之焚風現象芽葉受害較輕微，對茶菁及製茶品質之影響也較輕微。但兩者誘發之焚風現象均影響茶菁品質及製茶環境，陳（1990）也指出當焚風強度大時，茶菁受害較製茶受害嚴重，強度小時則對製茶品質影響較大。

七、茶樹焚風害防護措施

(一)噴水防護措施

經由人工模擬焚風之氣象變化測試結果顯示，確實能夠達到高溫低濕的氣候環境，經噴水後氣溫下降及相對濕度回升也能減輕茶芽的逆境壓力。經多次測試芽葉受害情形，無論嫩葉或成熟葉，芽葉受害程度隨模擬焚風吹襲時間的延長而提高，老葉則不受影響。品種間受害率以臺茶 12 號高於青心烏龍及臺茶 13 號，其嚴重受害率分別爲 46、42 及 32%，整體受害率也呈同樣的趨勢，分別爲 81、75 及 73%。由此顯示，不同品種對焚風害反應表現也有差異。不但品種間受害率有明顯的差異，而且芽葉生育期也影響受害率的高低。當芽葉已生長至一心四至五葉，即接近採摘期，其受害率較一心二葉期之幼葉爲高，品種間呈現一致之趨勢，以青心烏龍差異較明顯。由噴水處理試驗結果顯示，2 小時焚風吹襲時經噴水處理可減輕茶芽受害率，當模擬溫度超過 40 ℃，臺茶 12 號僅葉緣及芽尖有輕微之受害徵狀，受害率爲 33%，無噴水處理則達 91%。模擬焚風介於 35-40 ℃之間，芽葉受害率較低，有及無噴水處理芽葉受害率分別爲 20 及 43%。表 10 爲不同溫度之模擬焚風及噴水處理茶芽鮮重之變化，模擬焚風在 35-40℃之間，經 2 小時焚風再行噴水處理確能降低茶芽受害程度以致茶芽有回復的現象，而獲得較佳的茶菁品質。而且經 2 小時焚風不行噴水處理之茶芽也有回復之趨勢，兩品種呈相同之趨勢。但模擬焚風在 40℃以上，除了 2 小時焚風經噴水處理之青心烏龍有回復之現象，其他處理之茶芽鮮重均與對照呈顯著差異（鄭，2002）。

Table 10. The effect of the simulated foehn and sprinkler irrigation on the fresh shoot weight of the tea tree.

Temperature of simulated foehn	Treatment	TTES No.12 7day	TTES No.12 14day	Chin-Hsin Oolong 7day	Chin-Hsin Oolong 14day
		g/bud			
40-42 ℃	4 hours F	1.01b (68)	1.14b (68)	1.01b (68)	1.18b (59)
	CK	1.49a (100)	1.68a (100)	1.49a (100)	2.01a (100)
	2 hours F no SI	1.13b (62)	1.97b (70)	1.19a (82)	1.22b (71)
	2 hours F + SI	1.72a (94)	2.15b (76)	1.44a (99)	1.74a (102)
	CK	1.83a (100)	2.82a (100)	1.45a (100)	1.71a (100)
35-40 ℃	4 hours F no SI	0.40b (63)	0.55b (70)	0.33a (70)	0.69a (80)
	2 hours F no SI	0.36b (57)	0.82ab (104)	0.38a (81)	0.62a (72)
	2 hours F + SI	0.50ab(79)	1.08a (137)	0.41a (87)	0.72a (84)
	CK	0.63a (100)	0.79ab (100)	0.47a (100)	0.86a (100)

Values followed by the same letters are not significantly at α=0.05; F: foehn; SI: sprinker irrigation.

(二)其他防護措施

除上述之焚風侵襲期間可利用噴水灌溉設施及防風牆來提高茶園濕度、降低溫度，減輕茶芽受害程度。其他防護措施包括重視茶園栽培管理工作之敷蓋、中耕、病蟲害管理及多施用有機肥料，培養強壯的樹勢。茶芽受害嚴重應予修剪，促進新芽萌發。對已適合採摘之茶芽應儘早採收，以免葉片持續乾枯。製茶工廠須具備有熱風萎凋及空調設施來克服不利製茶的焚風環境。

八、結語

東南部茶區茶葉產製特色爲年生長期長，幾乎無休眠期，一年可採收 6-7 次。除了春、夏、秋、冬茶外，也由於氣候溫和，日照長，茶樹萌芽期早，其產期與西部茶區比較，春茶約可提早 20 天以上，冬茶亦可延後 20 天以上，即可以多採收早春茶及晚冬茶各一次。此時期西部茶區已無茶可供採收，爲東南部茶區產期上的優勢，爲氣候特性之有利因素。但另一方面，由於採收次數多，幾乎全年都在採茶、製茶，因此受天然災害影響之機會也隨之增加。東南部茶區天然災害發生極爲頻繁，包括乾旱、颱風、低溫、強風、焚風，均爲茶葉生產上之限制因子，因此有必要瞭解農業氣象災害發生情形及其防護措施，建立預防重於治療的觀念，多一分準備，少一分損失，平時做好茶園管理的工作。

九、誌謝

本研究承行政院農業委員會 87 科技-1.1-糧-09（1-17）、88 科技-1.1-糧-13（13）及 89 科技-1.9-糧-01（1-11）補助經費，特此誌謝。

十、引用文獻

王鎮恆、段建眞。1978。茶樹栽培學。p.109-111。浙江農業大學編。

台灣省政府農林廳。1995。農藝作物災害損失率基準參考手冊。p.59-70。

台灣省政府農林廳。1992、1996、1999。臺灣農業年報，南投縣。

朱德民。1985。缺水與作物關係。科學農業 33：37-43。

朱德民。1990。植物與環境逆境。國立編譯館出版，臺北市。

李祿豐。1999。1998 年瑞伯颱風所誘發焚風對宜蘭地區水稻白穗之影響調查研究。中華農業氣象 6：31-40。

林正錺、洪瑞廷。1987。旱害對果樹生長的影響。p.37-45。果樹天然災害預防與復育手冊。臺中區農業改良場特刊第 39 號，彰化縣。

林金池、陳世雄。1997。萎凋溫度與濕度對白茶品質之影響（I）失水曲線。臺灣茶業研究彙報 16：1-17。

邱垂錫。1983。農業氣象學。徐氏基金會出版，臺北市。

邱禮弘、林國榮、黃武林。1991。臺東地區焚風形成及其對果樹之影響。台灣農業 27：56-67。

邱禮弘。1994。焚風對枇杷之傷害及防範之探討。枇杷生產技術研習會，p.163-174。

眞木太一。1995。農業氣象災害特別是風害及其防止法。中華農業氣象 2：135-147。

施昭彰。1994。枇杷之水分生理與管理。p.127-134。枇杷生產技術研討會專集。臺中區農業改良場特刊第 34 號，彰化縣。

徐森雄、鍾德月、郭同慶。1989。焚風與農作。農藥世界 75：66-67。

徐森雄、 吳嘉俊、謝杉舟。1997。敷蓋對坡地微氣候之影響。中華農業氣象 4：19-26。

徐英祥、吳振鐸 1965。覆蓋對幼木茶樹生長及製茶品質以及土壤溫濕度之影響。中華農學會報 新 61：67-79。

陳玄。1990。焚風對茶樹生育及製茶品質之災害調查。茶業改良場 78 年年報，p.190-194。

陳玄、馮鑑淮。1994。茶樹旱害及其影響因子調查。中華農業氣象 1：133-141。

郭文鑠、楊之遠。1982。颱風誘發焚風現象及其對農作物之影響。氣象學報 28：1-12。

馮鑑淮、陳右人、陳國任。1994。東部茶樹剪枝時期、保溫與灌溉對春茶萌芽生長之影響。台灣茶業研究彙報 13：9-26。

鄭混元。1997。焚風對茶樹芽葉生育及製茶品質之影響。中華農業氣象 4：69-80。

鄭混元。1998。茶園地表敷蓋處理之微氣候及其對茶樹產量與品質之影響。中華農業氣象 5：75-84。

鄭混元。1999。乾旱期對茶樹農藝性狀及產量之影響研究。臺灣茶業研究彙報 18：45-56。

鄭混元。2001。植草及敷蓋對茶園土壤環境及茶芽生育、產量及製茶品質之影響。臺灣茶業研究彙報 20：13-28。

鄭混元。2002。焚風對茶樹生育影響及因應防災措施之研究。臺灣茶業研究彙報 21：11-32。

鄭混元。2003。乾旱對花東地區茶樹產量影響及因應措施之研究。臺灣茶業研究彙報 22：(投稿中)。

楊之遠、朱鈞。1985。風對水稻生長及生理特性影響之研究（1）風對水稻幼苗生長及光合作用、呼吸作用、蒸散作用之影響。中華農學會報 新 132：45-46。

楊純明。1996。臺灣地區的乾旱災害及土壤缺水對水稻產量之影響。臺灣農業 32：76-88。

蔡俊明、朱惠民。1983。敷蓋材料對茶樹生長之影響。臺灣茶業研究彙報 2:84-97。

顏吉甫、陳昇明、楊策群。1983。水稻田施用穀殼的效益及抵抗病害之研究。中華農學會報 新 124：19-29。

顏吉甫。1984。穀殼利用之研究 2.穀殼敷蓋對大麥生產力之影響。中華農學會報 新 124：52-60。

魏德祥。1991。焚風對茶樹生育及製茶品質之災害調查。茶業改良場 79 年年報 p.171-176。

Othieno, C.O. and P.M. Ahn. 1980. Effects of mulches on soil temperature and growth of tea plants in Kenya. Expt.Agric. 16:287-294.

Othenio, C.O. 1980. Effects of mulches on soil water content and water status of tea plants in Kenya. Expt. Agric. 16:295-302.

Drought and Foehn Injury Protection Method for Tea Tree

Hun-Yuan Cheng
Taitung Branch, Tea Research and Extension Station, COA, Taitung, Taiwan, ROC
E-mail：tstt215@myagro.nat.gov.tw

ABSTRACT

This text was to integrate drought and foehn injury investigation and prevention measures for tea tree(*Camellia Sinensis*(L.)Kuntze)from 1989 to 2002 in southeastern tea districts in Taiwan. The investigative and experimental results showed : The Chin-Hsin Oolong was more severely drought-injuried in the 2nd summer tea season at Juisui tea district of Hualien Hsien. The climatic changes of drought and non-drought seasons were clearly distinct. The TTES No.17 and Shiang Yuan had greater drought tolerance than others. Conversely, TTES No.5, Chin-Hsin Oolong and Shoei Shian had less drought tolerance. At locations prone to drought, it is suggested to plant the drought tolerant varieties. The rice husk mulching or incorporation on the tea tree rows could prevent tea trees from drought injury and improve soil properties, including soil compaction, water conservation, and soil temperature cooling. Foehn is always occurring in spring, summer and autumn tea seasons. The summer tea season had the highest occurrence rate up to 49%. The injury symptoms appeared in the forms such as leaf droop, dryness in leaf apex, margin, stalk and internode, and inhibition of shoot growth. After grading the injury symptoms, it was found that the injury grade score was positively correlated with maximum wind speed and foehn duration time. The tea tree suffered heavy injury by typhoon-induced foehn in summer and autumn, so as to affect tea production and manufacturing. Lighter injury of tea tree appeared in monsoon or strong air current-induced foehn. When foehn occurs, the best way to protect tea tree is to use sprinkler irrigation to increase relative humidity and decrease air temperature. Tea shoot injury ratio was decreased after the treatment.

Key words：Tea tree, Drought, Foehn, Protection method.

農業氣象災害調查與防護技術
蓮霧寒害預防之研究
127-134, 2003

蓮霧寒害預防之研究

賴榮茂
行政院農業委員會高雄區農業改良場
E-mail: jmlai@mail.kdais.gov.tw

摘要

摘要 ---------- 128

一、前言 ---------- 128

二、方法簡述 ---------- 128

三、結果與討論 ---------- 129

四、結語 ---------- 132

五、誌謝 ---------- 132

六、引用文獻 ---------- 132

ABSTRACT ---------- 133

蓮霧寒害預防之研究

賴榮茂
行政院農業委員會高雄區農業改良場
E-mail: jmlai@mail.kdais.gov.tw

摘要

本試驗的目的爲減低蓮霧寒害損失，以屏東地區生產冬季果實爲主的 7 年生蓮霧園爲材料，比較根部覆蓋及不同藥劑處理等之寒害預防效果。結果如下：寒流分別發生在 88 年 2 月 3 日至 5 日及 12 月 22 日至 24 日，2 月上旬的寒流低於 10℃的時間持續 5.5 小時，12 月下旬的寒流低於 10℃的時間持續 14 個小時，其中低於 7℃的持續時間達 7 小時。寒害的症狀，以落果、裂果、果肉劣變及落葉爲主。當溫度低於 10℃時，以 Fulmet 5 ppm 處理，在果實生長後期遭遇寒害之落果率 9.7％最低，遠低於對照組之 27.6％，且對果實品質沒有不良影響，其他藥劑處理如 Fulmet 10 ppm、SNA10 ppm、SNA 20 ppm，雖能減輕落果率，但會降低果實品質。當氣溫低於 7℃時，根部覆蓋處理之果實生長至果蒂微紅期遭遇寒害，落果率 53.8％有高於一般栽培區 50.2％的趨勢，但差異不顯著；落葉率在根部覆蓋之處理爲 78.6％，顯著高於一般栽培區 70.8％。當氣溫低於 7℃時，Fulmet 5 ppm 處理於果蒂微紅期遭遇寒害之落果率較低，在數據分析上有出現差異。綜合兩年期的結果，以 Fulmet 5 ppm 在幼果期施用能降低寒害所引起的落果，果實生長期根部覆蓋無法降低寒害。

關鍵詞：蓮霧、寒害、品質。

一、前 言

高屏地區的蓮霧經產期調節的結果，產期自每年的 12 月起進入高峰，然而每當冷氣團隨著東北季風南下，經常造成嚴重的寒害，在果實接近成熟時期前，對低溫最敏感，尤其留果量較多、樹勢較弱的植株受害最爲嚴重，幾乎到沒有收成的地步。農民爲了克服此一問題，常以藥劑防治，或是以昂貴的設施來禦寒，但效果不明顯或是不實用。因此，寒害仍是蓮霧產業的一大問題。本計畫擬嘗試以較低成本的防寒方式，配合栽培技術，調查蓮霧園溫度的變化及不同處理在寒流過後的受害情形，期能提供果農生產冬季蓮霧的參考之效果。

二、方法簡述

1.果園溫度環境之調查及寒害發生的情形：

於 9 月下旬至 10 月上旬催花之蓮霧園，自花芽萌發後，每日記錄果園大氣之溫度變化。並調查寒流發生後寒害發生之情形。

2.覆蓋對寒害發生及果實品質之影響：

於 9 月下旬至 10 月上旬催花之蓮霧園，栽培方式分爲根部覆蓋栽培及一般的栽培方式，在夜間氣溫低於 12℃時，調查果園大氣及地下部之溫度變化。並調查寒流發生後寒害發生之情形。

3.生長調節劑對寒害預防之效果：

以福芬素(Fulmet ； Forchlorfenuron) 5ppm 、 10ppm 及奈乙酸鈉(Sodium Naphthaleneacetic acid ; SNA) 10 ppm 及 20 ppm，在謝花後處理果穗每星期一次，並以不處理爲對照，連續 2 次，並在寒流接近前再處理一次。每處理 2 株，重複 4 次，寒流過後調查落果率及果實品質。

三、結果與討論

1.果園溫度環境之調查及寒害發生的情形

本試驗進行兩年，第一年試驗選在 87 年 10 月上旬催花的果園，果實生長至大紅頭期(催花後 120 日)遭遇寒流，最低溫 9.4℃發生在 88 年 2 月 4 日。此波寒流低於 10℃的時間持續 5.5 小時。第二年試驗的果園選在 88 年 9 月底催花，果實生長至中果期(催花後 85 日)遭遇寒流，最低溫 6.1℃發生在 12 月 23 日，此波寒流低於 10℃的時間持續 14 小時，其中低於 7℃以下的溫度持續 7 小時(如圖 1)。由溫度下降的曲線來看，兩次的寒流之日最低溫連續下降，兩天超過 4.0℃但爲未達 6.0℃，因此屬於中寒潮(徐，1992)，且皆屬於緩變型的寒潮(徐，1983)。但兩次寒流所出現的最低溫度及低於 10℃的持續時間不一樣，因此寒害的情形也有差別。二月份的寒流過後的寒害症狀主要爲落果、落葉、果肉劣變。十二月的寒害症狀，除了以上之症狀加深之外，還伴隨嚴重的裂果。

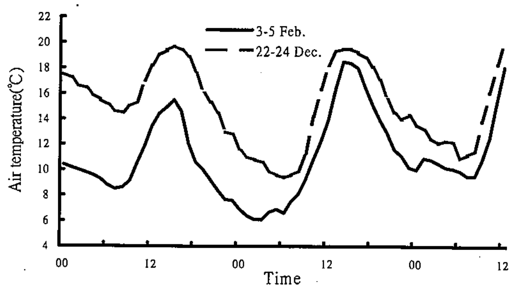


Fig.1. Variation of minimum air temperature during cold wave in 1999.

蓮霧屬於熱帶常綠果樹，爲了調節產期增加收益 (王,1983 ; Shu *et al.*, 1990)，於本土水果種類及數量最少的 12 月上市(李，1985)，冬果的生產是大部分農民的選擇。然據王(1983)指出，蓮霧在開花結果期間，若遇寒流來襲，氣溫降至 7℃以下時，花蕾及幼果會因受寒害而發生裂果或脫落，果蒂微紅期(中果期)及果實接近成熟期最易受害。據郭(1994)統計的結果，蓮霧寒害之落果率與 10 ℃以下之溫度持續時間呈顯著正相關。在本試驗中，12 月的寒流之最低氣溫曾達 6.1℃，且在 7℃以下的時間長達 7 個小時，相對地延長了氣溫低於 10℃以下的時間，因此加重寒害的程度。

2.根部覆蓋對寒害發生及果實品質之影響

由地溫的資料來看如表 1，根部覆蓋區比一般栽培區在 10 公分深度的地溫平均高出約 0.1℃，5 公分深度的地溫平均高出約 0.2℃，最低的地溫出現在寒流過後氣溫回升之前。在一般栽培區 5 及 10 公分深，分別出現 17.6℃及 18.6℃，根部覆蓋區 5 及 10 公分深則爲 17.9 ℃及 18.7℃。在樹冠下新根分布的深度，覆蓋區約 5 公分深可發現大量的新根，一般栽培區則大部分分布在 10 公分左右。一般相信蓮霧果實培期間，若能誘發大量的新根，有助於養分的吸收及品質的提昇。本試驗根部覆蓋處理

當低溫來臨時，在 5 公分深的地溫僅較一般區增加 0.2℃，保溫的效果不大。落果率及果實的性狀的如表 2，根部覆蓋處理之落果率 53.8 % 有高於一般栽培區 50.2 % 的趨勢，但差異不顯著。發生落果時，果實剛生長至果蒂微紅期，單果重在根部覆蓋區 62.5 公克，一般栽培區的 63.6 公克，甜度皆僅 6.4 °Brix；落葉率在一般栽培區爲 70.8 %，顯著低於根部覆蓋之處理的 78.6 % 。

當寒流來襲時，不管是否覆蓋，在 10 公分深的地溫變化不大。但對根部覆蓋區而言，5 公分深有較多的新根，地溫降至 18℃左右是否影響蓮霧根系的吸收能力，而增加寒害機會，在本試驗中由落果及落葉的調查資料作如此的推測。

Table 1.Variation of mean soil temperature at 5 and 10 cm depth during root mulching treatment.

Treatment	February				December			
	5		10		5		10	
Date	Root Mulching	Ck	Root Mulching	Ck	Root Mulching	Ck	Root Mulching	Ck
1-10	22.0	21.8	24.4	24.4	24.1	24.0	22.1	22.0
11-20	22.3	22.2	23.6	23.5	23.4	23.2	22.6	22.5
21-31	20.6	20.5	20.4	20.3	19.9	19.8	20.9	20.9

Table 2.The effect of root mulching treatment on fruit qualities.

Treatment	Fruit abscission (%)	Pedicle Diameter (mm)	Single fruit weight (g)	Total soluble solid(Brix°)	Leaf abscission (%)
Root mulching	53.8a	3.25	62.5	6.4	78.6a*
Ck	50.2a	3.26	63.6	6.4	70.8b

*:Same letter within each column indicated no significant differences at 5% level according to Duncan's MRT.

3.生長調節劑對寒害預防之效果

生長調節劑處理試驗，在套袋前已處理兩次，及寒流前處理一次，寒流過後調查量取果柄中間的直徑及落果率，第一年的試驗遭遇最低溫 9.4℃，各處理間落果率有顯著差異，Fulmet 5 ppm 處理爲 9.7%，顯著低於對照組 27.6%及其他的藥劑處理(表 3)。果柄中間的直徑，有藥劑處理的果柄的直徑均顯著大於對照組 3.22 mm，各藥劑濃度間以 SNA 20 ppm 及 Fulmet 10ppm 處理的果柄直徑效果最顯著。單果重的表現，Fulmet 10 ppm 處理者達 131.2 公克最高，但與 Fulmet 5 ppm 處理者 126.3 公克在統計上沒有差異，SNA 的處理效果較 Fulmet 差，且與對照組沒有差異。甜度的表現則以 Fulmet 5 ppm 效果最好，其他的處理跟對照組沒差異或是比對照組還差。果皮的光澤以 L 值來表示，以 Fulmet 5 ppm 最高，SNA 10 ppm 次之，但濃度提高之後 L 值的表現反而與對照相近，果皮的顏色越深紅，其 a 值越高，各處理間以 Fulmet 的處理效果最好，且低濃度的效果大於高濃度。

第二年的試驗由於低溫來得較早，當遭遇寒害時，果柄直徑在 Fulmet 5 及 10 ppm 處理區顯著大於與 SNA 的處理及對照組(如表 4)，一般而言，果柄直徑越粗壯越不容易發生落

果，雖然 Fulmet 5 ppm 之落果率在數據分析上有出現差異，各處理及對照組之落果率均在 40％以上。落葉率在 SNA 10 ppm 之處理 67.3％顯著高於對照及各處理。果實雖未具商品價值，但單果重有 Fulmet 或 SNA 的處理者，不管那一個濃度均顯著較對照的 62.3 公克高，但彼此間沒有差異。各處理沒有掉落的果實，至成熟期時 Fulmet 5 及 10 ppm 處理的單果重，分別為 112.3 公克及 129.5 公克，較 SNA 的處理及對照組高，但全部都發生裂果的現象，推測寒流過後雖未落果，但果皮因低溫受傷失去張力，當果肉繼續生長時，裂果就發生，且果實越大，裂果有越增加的趨勢。

據郭(1994)統計，在幼果期的落果率為 21％，果蒂微紅期為 25％，果實成熟期為 45％。本試驗果實發育達果蒂微紅期，落果率卻已達 49.8％，落葉率達 70.8％以上。從落葉率觀之，推測最低氣溫低於 7℃時，已超過蓮霧耐寒的極限。從果樹栽培的觀點，落葉率達 70%以上時，雖然落果率低於 50％，留在樹上的果實因葉片數不夠，果實無法達到市場所需的品質。因此寒害的損失，非只計算落果的損失，應衡量葉片受損情形，及為了品質，再度疏果的損失。由以上寒害試驗的進行，是在露天環境下經栽栽培果園，寒流的發生時間無法精確掌握。且果實發育的各階段對低溫的忍受程度不一，因此前處理的催花時間的控制，變得非常重要。一般在果蒂微紅期開始對低溫的敏感(郭，1994)，而生長後期遇低溫同樣會遭受嚴重的寒害。第二年的試驗處理的效果，與無處理的對照相近，看不出處理效果，由試驗區及整個產區的受害情形來看，由於最低氣溫在 7℃以下，使得 10℃以下的低溫時間相對延長，已對蓮霧樹勢造成嚴重的破壞。

Table 3. The effect of growth regulator treatment on chilling injury and fruit qualities. (February 1999)

Treatment	Fruit abscission (％)	Pedicle Diameter (mm)	Single fruit weight (g)	Total soluble solid (Brix°)	L	a	b
Fulmet 5ppm	9.7c*	3.34b	126.3a	12.5a	39.68a	29.10a	8.71b
Fulmet 10ppm	15.3b	3.48a	131.2a	9.7c	32.46c	24.73b	7.11c
SNA 10PPM	15.0b	3.22b	102.9b	10.5c	37.68b	18.91d	9.46a
SNA 20PPM	16.9b	3.50a	106.8b	11.1b	31.39c	19.66d	8.56b
Ck	27.6a	2.94c	104.1b	11.6b	32.54c	21.42c	8.51b

*:Same letter within each column indicated no significant differences at 5% level according to Duncan's MRT.

Table 4. The effect of growth regulator treatment on chilling injury and fruit qualities.(December 1999)

Treatment	Fruit abscission (％)	Pedicle Diameter (mm)	Single fruit weight (g)	Total soloble solid (Brix°)	Leaf abscission (％)
Fulmet 5ppm	40.2c	3.54a	64.2a	5.8c	70.2b*
Fulmet 10ppm	43.6b	3.63a	65.3a	7.2a	76.2a
SNA 10PPM	46.4b	3.24b	65.2a	6.8b	67.3c
SNA 20PPM	44.2b	3.23 b	65.0a	6.6b	68.9c
Ck	49.8a	3.24b	62.3b	6.6b	70.2b

*:Same letter within each column indicated no significant differences at 5 % level according to Duncan's MRT.

四、結語

屏東縣冬季日照、充足氣溫相對較高，但在寒流南下時，氣溫常降至 10℃以下。蓮霧屬於熱帶常綠果樹，臺灣目前以生產冬、春果爲主，當進入結果期以後，農民已投入大量的生產成本，此時經過一個強烈寒流，往往可能造成嚴重的損失。由於蓮霧在採收前對低溫較敏感，然而寒流發生的時間每年都有一些差別。因此農民較不願意投入固定設施來保護，仍然偏向以栽培技術及藥劑來培育健壯的植株來渡過低溫的危害。然而蓮霧畢竟對低溫的忍受有一定的限度，如有簡易的方法能增加對 10℃左右低溫的耐受性，它的實用性對產業的幫忙會較被接受。本試驗中在農民慣行的作業中，在幼果期施用資材減少果實生長後期遭受低溫的受害率，有顯著的效果，對穩定生產有一定的助益。

五、誌謝

本計畫經費承蒙中正農業科技社會公益基金會補助(87-中基-農-40、88-中基-農-28)，使試驗工作得以順利進行謹此致謝，試驗期間承蒙果樹研究室同仁協助處理及調查，使工作順利推展，特致謝忱。

六、引用文獻

王德男。1983。促進蓮霧提早開花產期調節之研究 II.化學藥劑及耕作處理對蓮霧催花效果之研究。中華農業研究 32(2):129-138。

李金龍。1985。果樹產期調節之必要性。果樹產期調節研討會專集。p.7-18。臺中區農業改良場特刊第 1 號，彰化縣。

徐森雄。1992。氣象學教材。國立屏東技術學院資原保育技術系。326pp.

徐森雄。1983。屏東地區之寒潮。屏東農專水土保持學報 7:132-134

滚匡時、蔡金川、梁連勝。1992。臺灣中部地區寒害之調查及預測。p.1-11。臺灣地區農業氣象災害調查與資源應用研究報告專輯，臺北市。

郭同慶。1994。低溫對屏東地區冬季蓮霧之落花落果及果實品質之影響。中華農業氣象 1(3)101-105.

Shu, Z. H., D. N. Wang, and T. F. Sheen. 1990. Techniques for producing off season wax-apples. p.27-37. *In:* International Symposium on Off-season Production of Horticultural Crops. Food and Fertilizer Technology Center Book Series No.41.

Studies on the Prevention of Chilling Injury in Wax apple

Jung Mao Lai
Kaohsiung District Agricultural Improvement Station, COA, Pingtung, Taiwan, ROC
E-mail：jmlai@mail.kdais.gov.tw

ABSTRACT

The purpose of this experiment is to reduce damage caused by chilling injury. Experimental material was 7-year-old wax apple fruits produced in winter season at Pingtung area during late winter of 1999-2000. Two treatments were applied, root mulching and chemical spraying, to prevent the damage from chilling injury. The results of experiments were as follows. Chilling stress occurred in 3rd-5th February and 22nd-24th December 1999. The minimum air temperature was below 10 ℃ and lasted for 5.5 hours in February and was below 7℃ for 14 hours in December. The main symptoms of chilling injury were fruit abscission, leaf abscission, cracking and sarcocarp breakdown. When temperature was below 10℃ in the final stage of fruit development, the mean rate of fruit abscission was 9.7 %, 15.3 %, 15.0 %, and 16.9 % for Fulmet (Forchlorfenuron) treatment at 5 ppm, 10 ppm, and SNA (Sodium Naphthaleneacetic acid) treatment at 10 ppm and 20 ppm, respectively. The rate of fruit abscission for 5 ppm Fulmet was lower than that of check (27.6 %), and no harm to fruit quality was observed by using this chemical. Other chemical treatments could reduce the rate of fruit loss, but might lower down the quality of fruits. When the temperature was below 7℃, no significant difference in fruit abscission rate was found between the root mulching treatment (53.8 %) and the check plot (50.2 %). When fruit abscission occurred in the green-red stage of fruit development, the root mulching treatment had 78.6% of leaf abscission rate while regular practice had 70.8%. Application of Fulmet at 5 or 10 ppm enlarged prominently the pedicle diameter than those of SNA treatments and check plot. Fruit abscission rate in 5 ppm Fulmet treatment (40.2%) was significantly lower than other treatments. Leaf abscission rate (67.3 %) of 10 ppm SNA treatment was the lowest compared to other treatments. The fruit was not fall in the Fulmet treatment after chilling, but serious cracking was found when the fruit were harvested.

Key words：Wax apple, Chilling injury, Quality.

農業氣象災害調查與防護技術
蓮霧低溫寒害之防護
135-144, 2003

蓮霧低溫寒害之防護

黃基倬*、王德男
行政院農業委員會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所
E-mail:jerry@fthes-tari.gov.tw

摘要 ---------- 136

一、前言 ---------- 136

二、蓮霧之低溫寒害 ---------- 136

三、蓮霧之低溫寒害防護及效益 ---------- 139

四、結語 ---------- 140

五、誌謝 ---------- 141

六、引用文獻 ---------- 141

ABSTRACT ---------- 143

蓮霧低溫寒害之防護

黃基倬*、王德男
行政院農業委員會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所
E-mail:jerry@fthes-tari.gov.tw

摘要

利用產期調節技術後所生產的冬果及春果蓮霧，果實發育期間，常遭低於 8℃低溫寒流，產生落葉、裂果及果皮凍傷、落果等現象，常造成重大損失。爲了避免低溫寒害，除了調整催花時機外，適度的修剪，維持枝條及葉片的均衡，可提高樹體及果實對低溫之忍受性。果實發育期間，可利用適當的物理設施以提高果園氣溫，而於幼果期配合噴施激勃素 $GA_3$50ppm、GA_{4+7} 及細胞分裂素 6-BA10ppm，有助於提升果實抗寒性；或在低溫發生前於葉面噴施 α-SNA10~15ppm 等，亦可提高樹體之抗寒性，延緩或減低寒害發生程度。

關鍵詞: 蓮霧、寒害、落果。

一、前言

蓮霧現已成爲臺灣南部最具競爭性的熱帶水果，根據 2002 年農業統計年報記載，蓮霧栽培面積爲 7864 公頃，以屏東及高雄兩縣爲主要生產地。蓮霧原於 5~7 月夏季高溫多濕環境生產，果實常有品質及著色不佳等缺點，不利市場競爭。經產期調整後，如今可以提前或延後產期爲 11 月至翌年 2~3 月，因氣溫漸降及日夜溫差大之條件下，果形、果色深紅具有較佳的市場售價。大多數蓮霧果農都以催花方式，在此期間採收，但可能因此面臨低溫所帶來寒害造成重大損失，值得栽培時注意。本文彙整筆者於近年來調查屏東縣佳冬、新埤、南州及高雄縣六龜等產地的寒害發生情形，以及寒害防減處理心得，期以提供識者進行蓮霧園寒害防減時之參考。

二、蓮霧之低溫寒害

(一)果實發育期間之環境變化

蓮霧屬於熱帶常綠果樹，生長適溫約爲 25℃，生育期間忌低溫。其正常採收期爲 5 月至 7 月，因當時逢高溫多濕環境，果實雖然發育快速，卻有品質差、著色不佳及病果率高等缺點。經由產期調節後的冬、春果蓮霧(王，1988，1991)，雖然果實發育期間氣溫漸降至 25℃以下，且日夜溫差大，但有利於蓮霧果實之發育，可生產果形大、果色深紅、糖度高的高品質果實。惟產調後的果實發育期間常遭遇大陸冷高壓來襲，儘管是位於臺灣南部地區產地，帶來的強烈低溫仍可能會造成嚴重的寒害損失。加上近年來氣象頗爲異常，低溫寒流來

襲之機率增多，且低溫的程度已由 15℃降至 10℃以下，甚至低於 8℃，不利於蓮霧生產。

(二)近年來蓮霧低溫寒害情形

在氣溫漸降且日夜溫差愈大環境之季節，雖有利於蓮霧果實發育與品質提升，但當氣溫低於 15℃，將促使植株生育緩慢，當低於 10℃時，果實及葉片生長將停滯或產生輕度寒害。而當氣溫小於 8℃時，則嚴重受害。據研究人員調查(王及徐，1988；王，1997；王及黃，2000)，若果實發育期間受低溫寒害，輕者葉片黃化脫落，嚴重者落花、落葉、裂果及凍傷及落果。依照民國 80 年至 91 年間農業氣象災害統計(盧等，1997；臺灣農業統計年報， 2002)，高屏地區民國 80、82、84、88 及 91 年均曾在 12 月至翌年 2 月間因寒害來襲造成重大損失(表 1)。果實方面，受害程度以採收前的成熟期最大，造成果色著色不良、畸型果、裂果、果皮凍傷或褐化、落果等；果皮轉紅階段的幼果，若受寒害則果皮凍傷或果肉褐化；果肉增厚期或開花期間，則果皮發生紅斑。另花蕾發育期間，則生長緩慢、脫落或枯萎。葉片方面，葉齡 4~6 月的老葉易遭受寒害，初期中肋附近的葉肉組織脫水，葉片因而黃化脫落； 2~4 月葉齡的葉片，受害程度較輕；2 月以內葉齡的嫩葉中肋維管束組織容易因凍傷產生褐斑。

表 1. 1991 年至 2002 年蓮霧低溫寒害受害情形

Table 1. The occurrence of chilling damage for wax-apple from 1991 to 2002.

Year	1991	1993	1995	1999		2002
Prefecture	Ping-tung	Ping-tung	Kaohsiung	Kaohsiung	Ping-tung	Ping-tung
Actual damaged areas (ha)	346	433	398	392	3702	61
Quantity (m.t.)	1903	3465	2908	3136	17029	791
Estimated Lost (NT$1000)	123695	215085	386806	250880	1021752	23739

Data from Agriculture Statistics Yearbook during 1991~ 2002, Council of Agriculture.

經歸納造成蓮霧低溫寒害的氣象條件如下：

1.低溫程度及低溫持滯時間：

氣溫低於 15℃，短期間之內大部分蓮霧樹體仍能忍受，但剃光頭重修剪蓋黑網催花管理的蓮霧樹，因樹體內貯藏養分不足，氣溫低至 10℃左右，即產生嚴重落果及落葉。若修剪程度較輕者，氣溫降至 10℃，短時間樹體仍具有抗性。低溫滯留時間長短亦影響受害程度，低溫 15℃以下，樹體生長緩慢或受限，短暫 10℃尚無明顯危害，但低溫時間延長，則造成寒害。而低於 8℃，短暫時間即可能造成嚴重落果及落葉。

2.低溫期是乾冷或濕冷：

小於 10℃，若空氣相對濕氣較高(溼冷)，寒害程度較輕，若空氣相對溼度低(乾冷)，則寒害較嚴重。

3.低溫期間是否有風：

寒流來襲時，冷空氣容易在樹冠下滯留，空氣對流有助於縮短停滯時間，減低寒害程度。

4.低溫前後氣溫變化是否劇烈：

寒害的發生除了受低溫程度及低溫滯留時間長短外，低溫前後的氣溫變化亦影響蓮霧樹體之受害程度，氣溫驟降或低溫後氣溫驟升，尤其是低溫後高溫強日照環境常造成嚴重落果。

產調後的蓮霧採收期受催花時間早晚而定，高屏地區 7~8 月(大暑、立秋及處暑)催花，11 月至 12 月採收的果實，此時遭遇低溫寒害的機率較低；9 月中旬前後(白露花)或 10 月以後催花(寒露花)，於 12 月底至翌年 2~3 月採收的果實較容易遭遇低溫危害(圖 1)。因此調整催花時間，即可避開或減低低溫寒害。

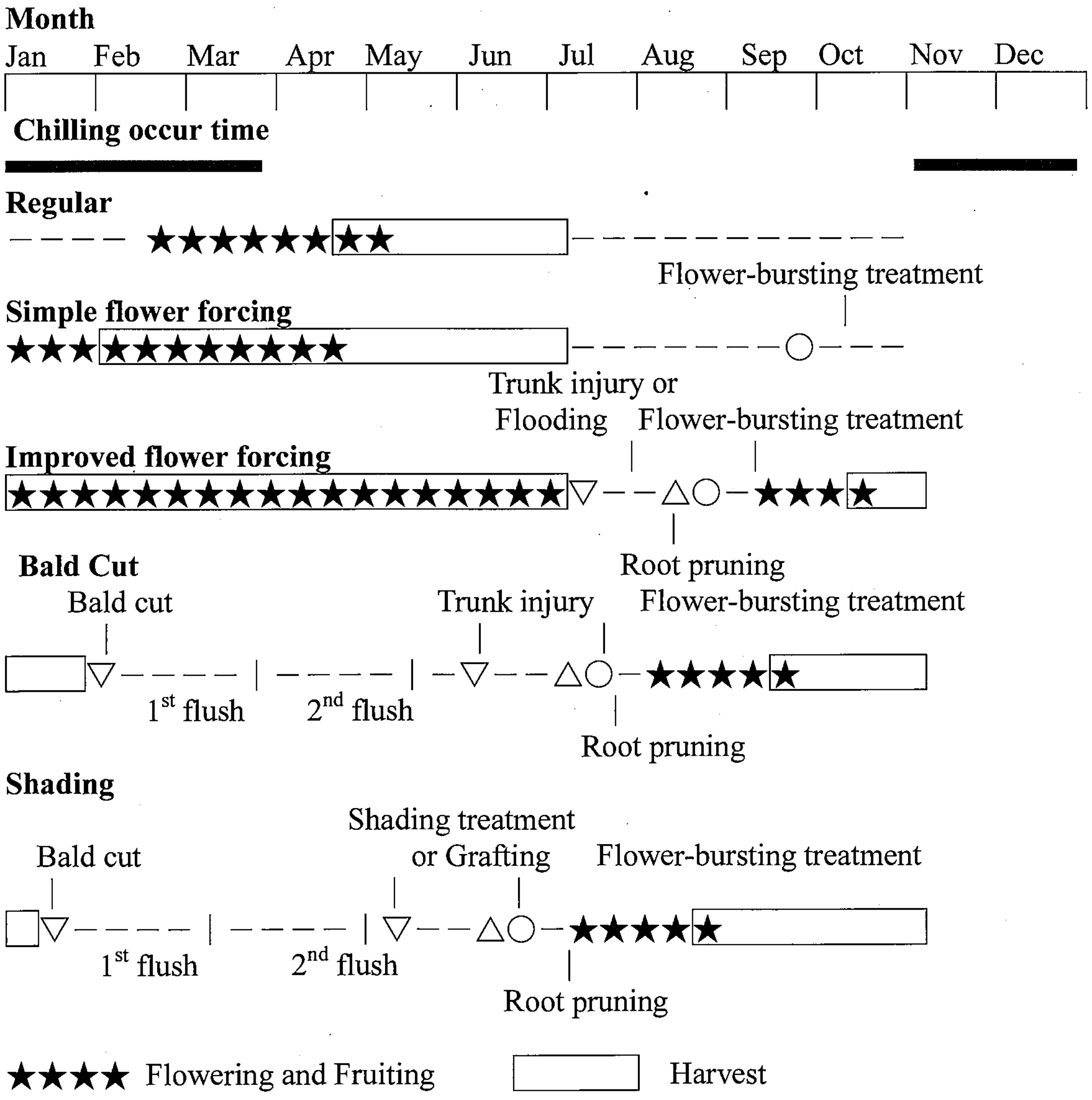


圖 1. 不同蓮霧催花模式圖。

Fig1. Different wax-apple production patterns.

(三)管理方式與寒害發生之關係

1.剃光頭(強修剪)：

採用剃光頭修剪者，常配合蓋黑網遮陰處理催早花蓮霧，於上一季果採收後，立即剪除全部枝葉，可留果一至二次。若於 6 月底至 7 月中旬催早花，第一期果遭遇低溫寒害的機率較不大，第二期果較容易遭遇低溫寒害；8 月中旬以後催花，遭遇低溫寒害的機率較高。剃光頭強剪的蓮霧果園，強剪後常同時大量萌發新梢，葉片的成熟度一致，樹體較無法忍受低溫，尤其是留果量過多時，10℃或稍低於 10℃時，即產生落葉或落果。近年來採剃光頭修剪的果園，套袋後果皮轉紅期間，爲避免樹體過度抽梢因而影響果皮著色及糖度表現，常噴施化學物質抑制頂梢伸長，除影響果實品質外且較容易遭受寒害。

2.半剃光頭(中度修剪)：

此類修剪程度較剃光頭者輕，樹體上枝條及葉片組成較均衡，萌發新梢的程度較輕，果實發育期間，成熟葉、半熟葉及剛萌生新葉的所組成比例適中，低溫寒害的程度遠較剃光頭重度修剪者爲輕。

3.自然管理(輕度修剪)：

果實採收後祇做輕度修剪，保持樹體原有生長勢，適時適量萌發新梢。果實轉色期至成熟前若遇寒流，樹體上成熟葉、半熟葉及嫩葉比例約爲 70:20:10 或 80：10:10，樹勢穩定不徒長，成熟葉、半熟葉可累積足量養分供應果實生育，新梢及嫩葉發育過程中，可合成內生植物荷爾蒙供樹體生育所需，確保果實品質，亦可增強樹體對逆境之抗性。

三、蓮霧之低溫寒害防護及效益

(一)低溫寒害預防之措施

蓮霧寒害之預防，過去曾經利用噴霧或灌水、地面覆蓋、架設風扇、PE 塑膠布或尼龍網保溫栽培、防風網及噴佈荷爾蒙類或化學物質等方式進行寒害防護(徐，1983；郭，1994；傅，1994；詹，1995；申等，1998；賴，2000)，但因氣象變化無常，無法掌握及預知寒流來襲時間及低溫程度與持滯時間之長短等，實際的防護效益有限。就目前採取的寒害防護措施，可區分爲物理性及化學性防護兩類：

1.物理防護

(1)灌水或噴霧：

平時蓮霧對水分需求度高，由溝灌或噴灌適時補給水分，果實發育期間更需常保持潮濕的環境。如林邊、佳冬及南州等地果園，於低溫寒流期間，灌水浸水數天，避免寒流低溫之危害。土壤保水較差的果園，如高雄六龜及屏東鹽埔或高樹等地，可利用噴水帶適時噴佈水分，保持地面濕潤；氣溫不低於 10℃時，能有效防止寒害發生。若果園有架設噴霧系統於低溫來襲時抽地下水行噴霧處理，亦有某種程度之防護效果。

(2)地面覆蓋：

地面覆蓋均能減少地溫散失，可有限度地避免樹體低溫來襲時受寒害。利用不織布或深褐色不透水材質爲敷蓋的材質，在低溫來襲前先進行敷蓋，可有效提升地溫 1~2℃，避免寒流來襲時地溫隨氣溫而驟降，減緩低溫寒害。

(3)架設風扇：

利用工業用大型風扇架設於蓮霧樹冠上，於寒流來襲期間藉由風扇之轉動，攪動蓮霧樹體四周之空氣產生對流，減少熱輻射提升樹冠內部及四周之氣溫，避免冷空氣長時間滯留在樹體及葉面，減低寒害。

(4)搭建簡易保溫設施：

寒流來襲前搭設簡易設施，將蓮霧樹以不透水 PE 塑膠布或 15 目白色尼龍網覆蓋，阻隔地面輻射熱的散失，減緩設施內氣溫的下降，並維持設施內濕氣，可降低寒害。

2.化學防護

蓮霧寒害發生前，施用化學藥劑亦可防寒害，處理方式區分爲幼果期間噴佈植物荷爾蒙及低溫前葉面噴佈化學物質兩類：

(1)幼果時期荷爾蒙處理：

蓮霧果實發育期間，噴佈植物荷爾蒙 $GA_3$50ppm、GA_{4+7} 及細胞分裂素(如 6-BA)10 ppm 等，可有效促進果實發育，增加果皮厚度及果梗強度，提昇對低溫之忍受力，避免凍傷，使果柄與果梗間不易產生離層，減少果實脫落。蓮霧果實對外加之植物荷爾蒙極爲敏感，宜注意適時且適量施用，有效促進果實發育，降低落果及果皮凍傷發生，並提昇果實對低溫之忍受性。

筆者於 88 年底 89 年初，於高雄六龜地區進行植物荷爾蒙處理試驗發現，88 年 12 月 10 日開花後至 89 年 4 月 12 日果實生育期間，最低氣溫爲 4.8℃，且低於 10℃持滯時間仍維持數天(圖 2)，造成當期果產量及品質嚴重受害。經該試驗發現未經荷爾蒙處理之果實，經歷低溫環境後，除果形小外、果色著色不均、果皮明顯易受凍傷，果實外觀及食用品質降低。至於經過植物荷爾處理之果實，果重、果長、果寬、糖度、色澤、果肉厚及凍傷情形均較對照處理佳(表 2)，而處理二次之效果較一次佳。

(2)低溫寒流前葉面噴佈：

近來低溫預報前，常以葉面噴佈防寒藥物如萘乙酸鉀鹽(α-SNA)10~15ppm、2,4-D 或 2,4,5-T 各 5~10 ppm 及液蠟等防止水分蒸散物質，提高樹體或葉片對低溫之忍受性，防止果實及葉片離層形成。其效果因藥劑濃度、果實生育期、樹勢、留果數而異。另外，低溫寒流前噴施含鉀、鈣含量高之有機或化學肥料，增加葉片之厚度等，提高蓮霧樹於低溫時之抗寒性。蓮霧管理過程常於果皮轉色階段，利用灌注高濃度磷鉀等肥料或葉面噴施，目的在於抑制新梢生長或者促進嫩梢成熟，有助於果實轉色及品質提昇。但成熟葉片數量多時易遭低溫危害而黃化落葉，可修正管理初期修剪作業時機及程度，促使樹體依自然條件適時適量萌生新梢，有助於蓮霧果實對低溫寒害的抗性並確保品質之穩定。

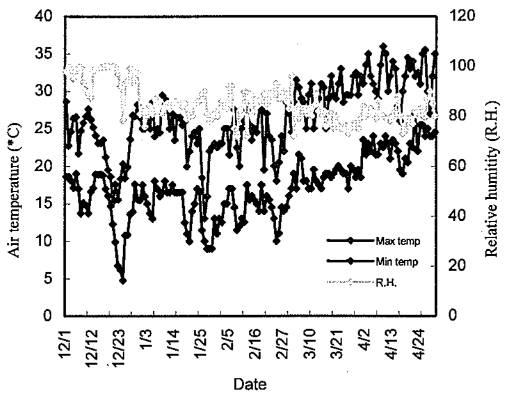


圖 2. 果實發育期間(1999 年 12 月 1 日至 2000 年 4 月 31 日)氣象變化情形。

Fig 2. The climate variation of fruit development stage from Dec.1,1999 to Apr.31, 2000.

(二)各防護方法之效益分析

目前蓮霧果園低溫寒害防護處理所採行物理及化學方式，尚無特定絕對有效防寒害方式。所採行的物理設施防寒效益，因樹體生育、天候條件而有所限制，目前以搭設簡易保溫棚架式成本低易具防護效果。另幼果期噴佈植物荷爾蒙，可促進果實發育及避免果實遭受低溫寒害，爲蓮霧管理之重要技術關鍵。寒流低溫發生前化學物質的噴佈，仍需配合樹體的生長勢，施用正確藥劑濃度，方能有效達到防寒效益。使用時應注意藥劑之安全性及施用濃度適期施用，避免影響果實品質並提高防低溫寒害效益。

表 2. 低溫寒害前不同荷爾蒙處理對果實品質之影響。

Table 2. The influence of different plant hormone treatments on fruit quality before chilling .

Char. Treat.	Fruit weight	Fruit length	Fruit weight	°Brix	Fruit thickness	Fruit color	Chilling degree
A	148.2±4.8	77.5±1.5	72.5±3.5	13.5±1.9	28.5±2.1	Dark red	+
B	126.5±6.2	75.2±2.6	67.5±4.0	11.7±1.5	27.6±1.8	Red	++
Check	103.5±4.2	73.6±2.5	63.5±2.4	10.3±2.2	26.5±1.7	Light red	+++

Flowering time：Dec.10, 2000.

Hormone：GA_3(50 ppm), GA_{4+7} and 6-BA(10 ppm).

Treatment A: Dec.17, 1999 and Jan 10, 2000 ; Treatment B : Jan.10, 2000 ; Check：no hormone treatment ;

Bagging time: Feb.10, 2000; Harvesting time: Apr.12, 2000.

Treatment field: Liukuei, Kaohsiung county.

四、結語

蓮霧原於仲夏 5~7 月間生產，經產期調整後於 11 月至翌年 2~3 月生產，果實生育期間常遭來自大陸冷高壓所帶來的低溫危害，由蓮霧栽培管理觀點來正視低溫危害，調整催花時間改變採收時間避免低溫寒害發生，爲最有效之方式。再者，加強改進枝條修剪及葉片管理爲基本策略，配合低溫期間合理且適當的物理及化學性防護，可提高樹體及果實對低溫的忍受性，降低蓮霧低溫寒害發生程度。蓮霧園遭遇低溫除了以上所述防護措施外，更應配合寒害後之復育措施，提早採收、修剪受害枝條及葉片或施用含氮素肥料及有機肥料等，促進樹勢恢復。

至今蓮霧防寒耕作處理或防護措施成效受限於天候及樹體之變化，尚無有效防護方法，仍待繼續研究建立經濟又有效率之蓮霧防寒措施，解決冬或春果寒害問題，確保蓮霧之競爭性。

五、誌謝

本計畫承蒙行政院農業委員會 92 農科-1.1.2-農-C1(35)及 92 農科-8.1.1-高 K1(2)計畫經費支持，謹誌謝忱。

六、引用文獻

王德男。1988。蓮霧栽培及產期調節技術。p. 1-17.臺灣省農林廳，行政院農業委員會。

王德男。1991。臺灣蓮霧栽培之過去與前瞻。p.339－355。臺灣果樹之生產及研究發展研討會刊。

王德男、徐秀鳳。1988。 Auxins 對蓮霧新梢生長及品質之影響。中國園藝 34(4)：283-292。

王德男。1997。果樹天然災害預防與復育手冊。p.67-69。臺中區農業改良場編印，彰化縣。

王德男、黃基倬。2000。蓮霧最怕天氣冷颼颼-蓮霧的低溫危害預防及復育措施。豐年 50(2)：65-67。

申庸、詹文揚、郭同慶。1998。屏東地區蓮霧園寒害防護措施之評估。中華農業氣象 5(1):7-13。

徐森雄。1983。屏東地區之寒潮。屏東農專水土保持學報 7：132－134。

郭同慶。1994。低溫對屏東地區冬季蓮霧之落花及落果及果實品質之影響。中華農業氣象 1(3)：101－105。

傅炳山。1994。簡易保溫設施對發育中蓮霧果實之防寒效果。pp.15-24.臺灣經濟果樹栽培技術及應用研討會專集。

詹文揚。1995。臺灣重要果樹溫度逆境改善方法之研究。中興大學土壤學碩士論文，臺中市.

盧虎生、朱鈞、王慶裕、朱德民。1997。災害性天氣與氣候對臺灣地區農作物生產影響及因應策略。p.87-108。氣候變遷對農作物生產之影響。林俊義 楊純明，主編。臺灣省農業試驗所專刊，臺中縣。

賴榮茂。2000。蓮霧田間寒害預防之研究。中華農業氣象 7:17-22。

臺灣農業統計年報。2002。行政院農業委員會，台北市。

The protect ional methods of chilling injury for wax-apple

Ji-Jwo Huang* and Der-Nan Wang
Department of Tropical Fruit Tree, Fengshan Tropical Horticulture Experimental Station,
Agricultural Research Institute, COA, Fengshan, Taiwan, ROC.
E-mail:jerry@fthes-tari.gov.tw

ABSTRACT

The production period of wax-apple (*Syzygium samarangense* Merill. et L.M. Perry) was adjusted from November to March by forcing culture techniques, which often induce the phenomenon of fallen leaves, cracked fruits, chilling fruits and fallen fruits after a period of low temperature (below 8℃) during the winter and early spring. There are some methods to lower the chilling injury: (1)adjusting the flowering period, (2)pruning the aboveground to maintain the balance between shoot and leaf growth, (3)cultural practices to increase field air temperature, (4)spraying plant hormone (e.g., 50 ppm GA_3, 10 ppm GA_{4+7}, or 10 ppm 6-BA during fruit development stage, and (5)spraying 10-15 ppm α-SNA before chilling occurrence.

Key words： Wax-apple, Chilling injury, Fallen fruit.

農業氣象災害調查與防護技術
颱風後縮短葉菜類蔬菜供應市場時間之品種研究
145-152, 2003

颱風後縮短葉菜類蔬菜供應市場時間之品種研究

王三太[1]、王毓華[1]、林子凱[1]、王振昌[2]、蕭吉雄[3]*
[1]行政院農業委員會農業試驗所園藝組
[2]農興貿易有限公司
[3]行政院農業委員會苗繁殖改良場[3]
E-mail: dir@www.tss.gov.tw

摘要 ---------- 146
一、前言 ---------- 146
二、內容 ---------- 147
三、結語 ---------- 150
四、誌謝 ---------- 150
ABSTRACT ---------- 151

颱風後縮短葉菜類蔬菜供應市場時間之品種研究

王三太[1]、王毓華[1]、林子凱[1]、王振昌[2]、蕭吉雄[3]*
[1]行政院農業委員會農業試驗所園藝組
[2]農興貿易有限公司
[3]行政院農業委員會苗繁殖改良場[3]
E-mail: dir@www.tss.gov.tw

摘要

以 90 年的桃芝與納莉兩次颱風爲例，研究莧菜與小白菜交易量與每公斤平均價格變化，可分爲飆漲期、合理利潤期、遲滯期與價格崩盤期四個時期。小白菜之飆漲期兩次颱風分別有 18 與 20 天，莧菜則有 11 與 20 天，災後立即復耕並無法趕上此時期，唯有在設施栽培或露天栽培耐雨品種可以在此期間內收穫。小白菜之合理利潤期兩次颱風分別有 3 與 8 天，莧菜則有 5 與 13 天屬此一時期，災後立即復耕再選用生育快速品種，不一定可達此一階段，但期間並不長。在小白菜之遲滯期交易量暴增，價格並未立即下跌，但期間非常短，約只有 1-3 天。而於價格崩盤期，則非常接近災後復耕收獲的時間。小白菜新品系 01-17 在桃芝颱風、屏東豪雨與納莉颱風三次區域試驗，平均較對照品種增產 92.8%，而且是在飆漲期收獲，可增加農民收益。金豐莧菜新品種平均較對照品種增產 42.7%，而且由株高平均高出 98.7%，推測約可提早 2-4 天採收，以莧菜在桃芝颱風飆漲期只有 11 天，能縮短 2-4 天收穫即非常重要。根據本研究結果，顯示藉由選育更耐雨品種或適合塑膠布溫室栽培的耐熱品種，提供農民使用，可以增加颱風豪雨後的葉菜類供應量，因而增進採用此項做法農民的經濟收益。

關鍵詞： 颱風、小白菜、莧菜。

一、前言

颱風所帶來的豪雨，造成葉菜類的死亡或殘葉等品質不佳現象，使得產量銳減，引起價格飆漲。歷年來農政單位雖然屢屢呼籲於颱風期間食用根莖菜類，但搶購葉菜類現像，並沒有改變。如何提高葉菜類災後的供應量，一直是一個問題，解決之道有冷藏、設施栽培、選用耐雨耐濕品種及災後復耕等四方面。雨災前搶收冷藏，因豪雨前 20 天並未預期有颱風，栽培面積不會明顯增加，所以對整體供應量並未有幫助，而且冷藏的品質以莧菜爲例，約只可維持 7 天，並沒有長期效果。能隔除雨害的塑膠布溫室栽培，在沒有受風害下，可穩定供應市場需要，但因夏季塑膠布溫室的高溫及光線減弱，造成大部分葉菜類產量明顯降低。如果沒有雨害下，其栽培成本會高於僅用紗網等

簡易設施栽培，所以西螺地區設施栽培，主要爲不怕高溫且生育快速的莧菜與空心菜，尤其是莧菜在夏季可縮短栽培期 2-3 天。如果在露天或網室栽培，則需要更耐雨耐濕品種，才能忍受颱風往往帶來超過 100 公厘的單日雨量。

關於災後復耕，政府希望農友趕快播種，農友則擔心是否會因大家播種期一致而同時出貨，因爲市場到貨量過高將造成價格崩盤。此外，應於災後若干天播種才合適，則是另一項農友關心的問題，期以獲得較佳的栽培利潤。本文擬以 90 年的桃芝與納莉颱風爲例，以莧菜與小白菜銷售量與價格的變化，探討災後復耕的空間。另以農委會農業試驗所育成一代雜交種 01-17 小白菜新品系爲例，說明耐雨特性，以及如何在豪雨影響下仍可以在網室下維持較佳生長表現。再以農試所育成台農 2 號金豐莧菜爲例，說明其快速生育快速及豐產特性，在颱風後栽培可能受到的影響。

二、內容

(一) 桃芝與納莉颱風對小白菜與莧菜銷售量與價格的影響

桃芝颱風於 90 年 7 月 30 日帶來豪雨，以中央氣象局最接近西螺產區的台南場雲林分場測站的單日雨量高達 259.5 公厘降雨量，而納莉颱風於 90 年 9 月 17、18 日分別在雲林分場測站測得 295 與 323 公厘雨量。兩個颱風雖都是中度颱風，但滯留時間與行經路線有所差異，桃芝颱風由花蓮登陸通過中央山脈，由新竹離開，滯留約 10 小時；納莉由東北登陸，沿著西部，經 49 小時後才由台南安平離開，長時間強風影響，可能對塑膠布溫室造成損毀程度較桃芝更嚴重。

小白菜與莧菜的交易量根據「農產品交易行情站」（http://163.29.73.1971）統計顯示，小白菜不同市場交易量在兩次颱風期間（颱風前 3 天至颱風後 27 天），以臺北一市的 44.2%與 46.3%最高，莧菜則以西螺鎮的 59.9%與 72.5%占最高比例，故小白菜採用臺北市交易量與價格變化做說明，莧菜則採用西螺鎮交易資料。

小白菜在桃芝颱風侵襲前後期間在臺北市交易量與平均價格變化，如圖 1 所示，桃芝颱風侵襲前三天，交易量約 23~37 公噸，價格介於每公斤 9~13 元；7 月 31 日至 8 月 17 日颱風侵襲後 18 天內，交易量在 7.7~17.6 公噸間，平均交易量僅有 12.9 公噸，每公斤平均價格介於 23.6~39.5 元間，期間每公斤平均價格則有 30.9 元。颱風後 19 至 21 天平均交易量 19 公噸，每公斤平均價格降爲 24.4 元，颱風後 22 天交易量暴增至 31.7 公噸，價格跌至每公斤 15.5 元，颱風後 23~27 天，平均交易量 22.4 公噸，平均價格僅有 9.5 元，約爲高峰期的三分之一價格。小白菜在夏季播種至採收約需 22 至 25 天，所以如果桃芝颱風過後立即播種，農民無法獲得更好的利潤，除非他在露天或網室使用耐雨的品種，或在塑膠布溫室栽培具耐熱特性的品種，可以在颱風後 18 天內獲得超額利潤。

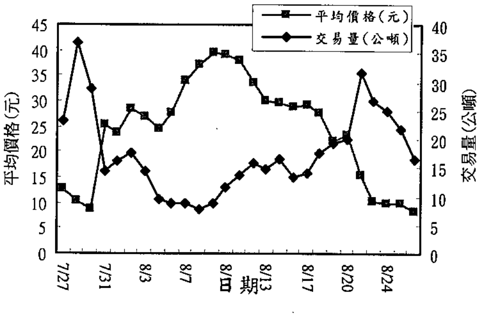


圖 1. 小白菜在桃芝颱風(7 月 30 日)期間在台北一市交易量與平均價格變化。

納莉颱風對小白菜價格與交易量影響如圖 2 所示，颱風後 9 月 20 日至 10 月 9 日 20 天交易量介於 4.5~17.4 公噸間，平均爲 8.5 公噸，每公斤平均價格介於 38.5~71 元間，平均 51.5 元。接著 8 天平均交量爲 24.1 公噸，平

均每公斤價格 29.2 元，至 10 月 18 日交易量暴增爲 32.5 公噸，價格每公斤仍有 22.5 元，最後平均有 42.6 公噸交易量，每公斤平均價格降爲 9.6 元，約爲高峰期的五分之一。如在納莉颱風雨後馬上播種，以播種後 22~25 天收，約有 6 天有機會賺到超額利潤，桃芝與納莉造成價格波動的差異，推測可能納莉造成塑膠布溫室設施的損壞，或是連續兩天雨量造成設施外小苗死亡較桃芝颱風更嚴重。

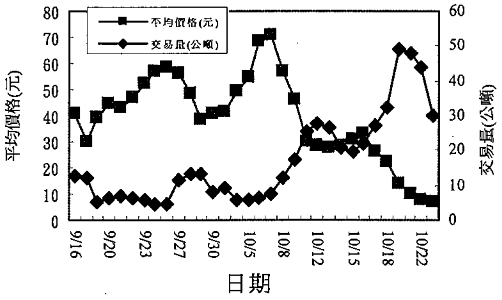


圖 2. 小白菜在納莉颱風(9 月 17-18 日)期間在台北一市交易量與平均價格變化。

莧菜在桃芝颱風侵襲前後期間在西螺鎮交易量與平均價格變化，如圖 3 所示，桃芝颱風侵襲前三天，交易量約 18.8~19.8 公噸，價格則介於每公斤 13.3~15.4 元，9 月 3 日颱風後 11 天，交易量在 12.9~15.6 公噸間，平均交易量僅有 14.1 公噸，每公斤平均價格介於 25.4~31.9元間，期間每公斤平均價格則有 28.1 元。颱風後 12 至 16 天平均交易量 16.7 公噸，每公斤平均價格降爲 20.3 元，颱風後 17 至 19 天平均交易量已恢復至颱風前交易量水準的 19.4 公噸，價格仍維持每公斤 19.1 元。颱風後 20~27 天，平均交易量 22.9 公噸，平均價格僅有 11.2 元，約爲高峰期的五分之二價格。

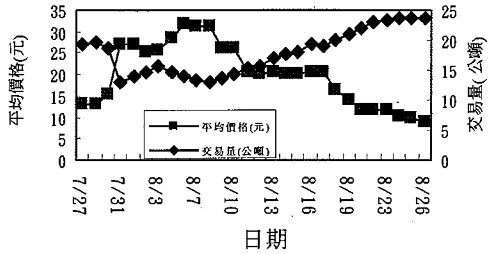


圖 3. 莧菜在桃芝颱風(7 月 30 日)期間在西螺鎮交易量與平均價格變化。

納莉颱風對莧菜價格與交易量影響如圖 4 所示，颱風後 9 月 20 日至 10 月 9 日 20 天交易量介於 4.4~12.7 公噸間，平均爲 10.6 公噸，每公斤平均價格介於 31.6~49.2 元間，平均 40 元，接著 13 天平均交量爲 12.3 公噸，平均每公斤價格 23.9 元，接著 10 月 23 日交易量增爲 14.6 公噸，每公斤平均價格降爲 17.7 元，約爲高峰期的五分之二。如在納莉颱風雨後馬上播種，因 10 月份溫度已較 7 月份低，莧菜較白菜對低溫敏感，從播種至採收約需 25 天收，約有 8 天有機會有更好利潤。

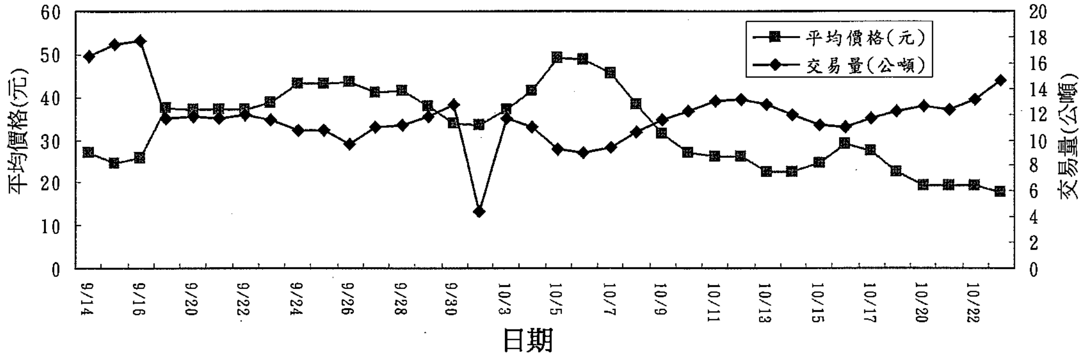


圖 4. 莧菜在納莉颱風(9 月 17-18 日)期間在西螺鎮交易量與平均價格變化。

兩次颱風對小白菜與莧菜交易量與價格的影響可分爲四個時期，第一階段飆漲期交易量銳減，價格暴漲。小白菜兩次颱風分別有18與20天，莧菜則有11與20天屬第一階段，災後立即復耕無法達到此一時期，除非在可防雨害的塑膠布溫室設施栽培或在網室栽培可耐雨品種，才有可能達此一階段。此一階段在塑膠布溫室設施栽培的莧菜品種，需要相同時間下有更高產量與更短生育期，露地與網室小白菜與莧菜品種則需具備耐雨的條件。第二階段合理利潤期，交易量略升，對栽培的農民有利潤。小白菜兩次颱風分別有3與8天，莧菜則有5與13天屬此一時期。災後立即復耕，再選用生育快速品種，可達此一階段。第三階段遲滯期交易量爆增，價格仍維持在第二階段合理利潤，時期非常短，小白菜兩次颱風皆只有1天，莧菜則在桃芝颱風有3天屬此一時期。第四階段價格崩盤期交易量穩定高量，價格崩盤。

(二)小白菜新品系 01-17 在颱風豪雨期間與對照品種比較

小白菜新品系一代雜交種 01-17 與西螺慣用固定品種小白菜在 90 年進行四次區域試驗，其中三次栽培期如表 1 所示，西螺區域試驗在播種後 15 天正逢桃芝颱風；屏東區域試驗，根據中央氣象局公佈的高雄區農業改良場測站共降下 356 公厘雨量(www.cwb.gov.tw/V4/ climate/daily-rain/Data/72Q012001.htm)，播種後 18 天單日雨量高達 115 公厘；霧峰區域試驗期間遇納莉颱風影響結果，根據農試所氣象站累計試驗期間共降下 327 公厘雨量，9 月 17 單日(播種後 19 天)即降下 189 公厘雨量(http://www.tari. gov.tw/霧峰總所/農工系/氣象資料/2001/200109.xls)，三次試驗皆受颱風與豪雨影響。西螺區域試驗是採水平網室栽培，屏東爲網室栽培，霧峰爲低架紗網，雨水皆可穿過，西螺、屏東與霧峰三個試區之小區面積分別爲 7.8、3.8、1.6 平方公尺，試驗設計採 RCBD 三重複。

試驗結果如表 1 所示，三次試驗結果皆顯示新品系 01-17 在豪雨影響下，皆較對照品種豐產，三次分別增產 19.6%、99.0%、160.0%，平均增產 92.8%，三次試驗皆較一般正常 25 天採收期分別延長 4、4 與 1 天，8 月 13 日、9 月 17 日與 9 月 24 日三次試驗採收日皆在雨害後第一階段交易量銳減且價格暴漲期。臺北一市每公斤平均價格爲 30.1、29.9 與 56.6 元，相較於 8 月 24 日至 9 月 1 日每公斤平均價格只有 7-10 元，相差達 3-8 倍，所以在颱風豪雨期間選用耐雨品系 01-17，可減少損失，增加收益。

表 1. 小白菜新品系 01-17 在豪雨影響下與對照品種小白菜之產量比較。

地點	01-17(公噸/公頃)	小白菜(公噸/公頃)	$LSD_{0.05}$	栽培期間
西螺	26.9	22.5	2.7	7/15-8/13
屏東	19.1	9.6	5.7	8/19-9/17
霧峰	18.2	7.0	4.5	8/29-9/24

(三)生育快速臺農 2 號金豐莧菜新品種

臺農 2 號金豐莧菜與西螺、臺南與屏東慣用品種在 88 年進行四次區域試驗，西螺、臺南與屏東三次小區面積分別爲 13.4、4.5 與 5.2 平方公尺，試驗設計採 RCBD，除西螺第二次爲三重複，其餘三次爲四重複，西螺、臺南與

屏東三次的設施爲水平網室、塑膠布溫室與網室。試驗結果如表 2 所示，四次試驗金豐較對照品種分別增產 70.9%、45.8%、34.6%與19.5%，平均增產 42.7%，如果在塑膠布設施下，在颱風後第一階段期間採收，有更高的增產結果。

莧菜適收大小隨地點與消費習慣不同有所差異，桃園與八德採收 20-25 公分大小，連根採收，西螺、臺南與屏東採收 25-40 公分，一般採 30 公分大小，亦帶根，臺南則有另一種形式，採收 15-25 公分不含根，一般採約 20 公分大小。消費量以 30 公分適收最普遍，其次爲桃園與八德的 20-25 公分大小。而金豐較對照品種更早達適收大小，四次試驗金豐較對照品種分別高 81.3%、161.7%、68.5%與83.4%，平均增高 98.7%。也就是金豐更快達適收大小，對照品種並未達一般適收的 30 公分，僅有西螺第一次與臺南區域試驗達桃園、八德與臺南不帶根的標準。由高度的差異，以莧菜後期生育快的特質估計夏季生育期相差約 2-4 天，而以桃芝颱風災後的價格飆漲期約僅 11 天，此提早 2-4 天即有其重要性。

表 2.臺農 2 號金豐莧菜影響下與對照品種小白菜之產量比較。

地點	產量(公噸/公頃)			高度(公分)			栽培期間
	金豐	對照品種[z]	$LSD_{0.05}$	金豐	對照品種	$LSD_{0.05}$	
西螺	35.2	20.6	5.2	37.9	20.9	3.8	25 天(5/ 1- 5/26)
西螺	14.0	9.6	3.1	24.6	9.4	4.7	19 天(8/21- 9/ 9)
臺南	25.3	18.8	5.0	36.9	21.9	6.7	25 天(9/23-10/18)
屏東	28.8	24.1	2.2	29.9	16.3	4.0	25 天(9/23-10/18)

[z] 西螺、臺南與屏東分別採用當地使用品種黃葉種、臺南白莧、軟枝莧爲對照品種。

三、結語

研究兩次颱風結果顯示僅有設施栽培與耐雨品種可以在颱風後的飆漲期穩定穫利，災後復耕穫利時間短或無，而設施栽培高產與生育快品種有最好收益。如金豐莧菜平均增產42.7%，再加上每公斤單價爲一般時期 2.5 倍，收益差異可達 3.5 倍。但如果新品種廣泛使用，則差異不會這樣大，但對消費者則可提前解決莧菜高價問題。耐雨小白菜新品系01-17 可以較對照品種在雨期產量差異達一倍之多，而且是在價格爲一般時期三倍的飆漲期採收，小白菜新品系 01-17 可較一般固定品種明顯提高收益。此結果顯示透過品種改良，可以提高農民在颱風後的收益，或減緩民眾豪雨後葉菜缺乏之苦，但並非一蹴可及，莧菜與小白菜皆經過 8 年過程才完成。而因應塑膠布設施的日益增加的趨勢，選育更耐熱或適合露天的耐雨葉菜類品種爲育種者未來的挑戰。

四、誌謝

本研究承蒙行政院農業委員會 92 農科-1.1.2-農-C2、農興貿易有限公司合作之產學合作計畫 91 農科-1.1.1-農-CQ 經費補助，蔡嘉昌先生與曾明懋先生之田間協助，謹誌謝忱。

Improving Shortage of Leafy Vegetable Supply after Typhoon by Using New Cultivar

San-Tai Wang[1], Yu-Hua Wang[1], Tze-Kai Lin[1], Jenn-Cheng Wang[2] and Chi-Hsiung Hsiao[3]
[1]Division of Holticulture, Agricultural Research Institute, COA, Taichung Hsien, Taiwan, ROC
[2]Agrnew Trading Co., LTD, Taichung Hsien, Taiwan, ROC
[3]Seed Improvement and Propagation Station, COA, HsinShe, Taichung Hsien, Taiwan, ROC
E-mail address: dir@www.tss.gov.tw

ABSTRACT

Changes of market yield and average price per kilogram of non-heading chinese cabbage and vegetable amaranth, during typhoon periods of Toraji and Nari in 1991, may be divided into four stages, namely, high-price stage, profitable stage, lag stage and breakdown stage. High-price stages for non-heading chinese cabbage were 18 and 20 days, while they were 11 and 20 days for amaranth, after the periods of Toraji and Nari. By using seed-broadcasted method immediately after typhoon, production of non-heading chinese cabbage and amaranth could not timely reach the high-price stage. When cultivated in plastic house or using rain-tolerant cultivar in net house, there was chance to harvest in this stage. Profitable stages for non-heading chinese cabbage were 3 and 8 days, while they were 5 and 13 days for amaranth, after the periods of Toraji and Nari. It was found that when farmers broadcasted seeds immediately after typhoons, it could reach this stage. Lag stage lasted only 1 to 3 days, in which market yield increased significantly and price was as good as in profitable stage. Breakdown stage was near harvest time if seeds were broadcasted right after typhoon. Regional experiments results showed that non-heading chinese cabbage line '01-17' reached high-price stage with the average yield increased 92.8% relative to those from the local cultivars after Toraji and Narin and heavy rainy in Ping-Tung in 1991. Amaranth cultivar 'Golden Rich' had averaged yield 42.7% higher than local cultivars in Shiluo, Tainan and Pingtung with averaged height 92.8% higher and harvest date 2-4 days earlier than the local cultivars. Since high-price stage of amaranth after Toraji had only 11 days, the early harvest was very important to farmers. It suggests that selection and breeding of rain-tolerant or heat-tolerant cultivar is a good strategy for farmers to produce leafy vegetable after typhoon and to maintain a reasonable income after disasters.

Key words: Typhoon, Non-heading chinese cabbage, Amaranth.

農業氣象災害調查與防護技術
土壤水分境況對土壤及水稻生育之影響
153-166, 2003

土壤水分境況對土壤及水稻生育之影響

李健择*[1]、陳世雄[2]
[1]行政院農業委員會臺中區農業改良場作物改良課
[2]國立中興大學農藝學系
E-mail:lijiafen@tdais.gov.tw

摘要 ---------- 156
一、前言 ---------- 156
二、土壤水分境況對土壤理化性質之影響 ---------- 156
三、土壤水分境況對水稻生理之影響 ---------- 159
四、土壤水分狀況對水稻生育之影響 ---------- 161
五、結語 ---------- 163
六、引用文獻 ---------- 164
ABSTRACT ---------- 168

土壤水分境況對土壤及水稻生育之影響

李健捀*[1]、陳世雄[2]
[1]行政院農業委員會臺中區農業改良場作物改良課
[2]國立中興大學農藝學系
E-mail:lijiafen@tdais.gov.tw

摘要

國內育成之水稻推廣品種，於水稻生育初期耐旱性低，稉稻品種耐旱性又較秈稻品種爲差。水稻生育初期仍以湛水管理，對於養分的有效性及吸收利用效益較大。但二期作應提早於移植後第 29 天進行晒田管理，以改善不良的土壤環境障礙。幼穗形成期間及抽穗期間，應給予充足之灌溉水。在穀粒充實期，適當減少灌溉水，可以得到較高的產量。提高土壤水分張力，亦有降低白米中粗蛋白質含量之效果。因此水稻於生育後期，當水稻植株有累積過量氮素時，可利用適當的排水管理，以降低水稻對氮素的吸收，對稻米品質將有顯著的提升效果。

關鍵詞：水稻、土壤、土壤水分境況、產量、稻米品質。

一、前言

臺灣的稻作栽培面積約爲 34 萬公頃(農業統計年報, 2000)，估計一般栽培水稻平均每期作總需水量約爲 124 公分(Kung, 1971)，因此臺灣每年使用在水稻栽培的總需水量約爲 42 億公噸。如此巨量的用水量，卻在水稻栽培的過程中，大部分以蒸散、蒸發及滲漏等方式而流失，眞正被水稻吸收利用的僅佔一小部分，因此對水分的使用而言，水稻是極爲不經濟的作物。但是減少灌溉用水，改變土壤水分張力，會引起土壤氧化還原系統的改變，影響土壤養分的有效性。同時因水分變化，也將導致土壤穿刺阻力改變，而影響水稻根系的伸展，進而影響水分及養分的吸收，使得水稻植株的各項生理功能受影響。經由改變土壤水分張力所引起的連鎖反應，最後可以表現在水稻的生育及產量上。

二、土壤水分境況對土壤理化性質之影響

水稻生長所需要的水分及養分大部分需依賴根部自土壤中攝取。因此欲使水稻生長良好，土壤必須提供適宜的環境，以利水稻根系發揮功能。水稻在生長期間，土壤長期處於浸水狀態，土壤浸水後，其物理、化學和生物性質皆隨之改變，而影響水稻生長。浸水使大氣和土壤間的氣體交換減緩，氧氣在水中的擴散速率爲空氣中的萬分之一，使得土壤從有氧狀態轉變爲無氧狀態，造成土壤氧化還原電位下降，土壤中的 NO_3^-、Mn^{4+}、Fe^{3+}及 SO_4^{2-} 等離子因接受電子，而產生各種還原物質。土壤物質還原次序依序爲 O_2、NO^-、Mn^{4+}、Fe^{3+}及 SO_4^{2-}(Patrick and Mahapatra, 1968)。Takai *et al.* (1956)指出土壤浸水後，一天之內氧氣幾乎全

部消失，造成土壤的還原狀態。Black(1968) 指出在無氧氣存在的情況下，氧化還原電位爲水田還原程度最好的指標，它可提供土壤中化學和生物變化的訊息。水田在還原情況下，鐵和錳的氧化物因還原而溶解度增加，使土壤中 Fe^{2+}和 Mn^{2+}濃度提高(Gotoh and Yamashita, 1966; Ponnamperuma, 1972)。土壤中 Fe^{2+}、Mn^{2+}的增加，對於水稻吸收這兩種元素是有利的(Clark *et al.*, 1957)。而且 Fe^{2+}和 Mn^{2+}可以將交換位置的 K^{+}和其他陽離子交換出來，增加這些陽離子的有效性(Ponnamperuma, 1967)。但是 Fe^{2+}、Mn^{2+}濃度過高對水稻會造成毒害(Ponnamperuma, 1955)。土壤中磷的有效性可因浸水而增加，這是因爲氧化還原電位下降導致難溶的磷酸鐵，因鐵的還原而溶解所致。在還原狀態下，鉀較易溶解，尤其在含有大量的 Fe^{2+}及 Mn^{2+}的土壤，因爲 Fe^{2+}和 Mn^{2+}將 K^{+}交換出來所致(IRRI, 1963; Ponnamperuma, 1976)。窒息病是目前國內第二期作水稻生育初期普遍發生之生理病害，其原因爲一期稻草掩埋不當，導致土壤累積過量未腐熟有機質，在湛水情況下造成氧化還原電位急速降低，使土壤中還原過多的有毒物質，致使根系壞死，嚴重影響地上部水稻植株生育甚至死亡(圖 1)。

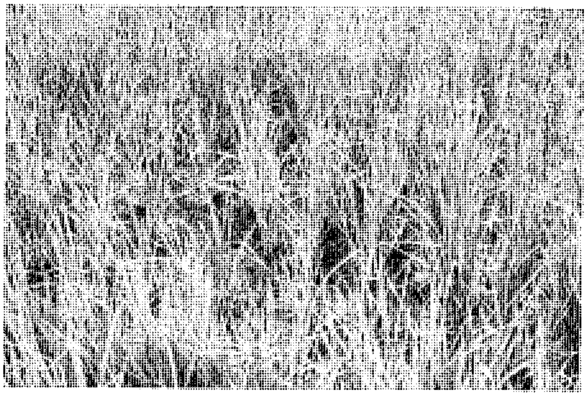


圖 1. 未腐熟稻草於土壤中醱酵，抑制水稻之生長。

Jugsujinda and Patrick (1977)在水稻營養生長期間，以不同氧化還原電位及 pH 處理，觀察水稻對鐵、鋅、錳及磷之吸收情形，指出在低氧化還原電位，鐵的吸收較好，鋅則在低還原狀態下，溶解度及吸收皆降低，且隨著氧化還原電位的下降而吸收愈少。錳的吸收則顯著受到鐵的影響，當鐵吸收增加時，錳吸收減少。pH 值對磷的吸收有顯著的影響，在 pH 較低的情況下，氧化還原電位高者較還原電位低者磷吸收較好，當 pH 值提高則磷的吸收降低，可能由於鐵的溶解度降低，形成不溶解性磷酸鐵有關。土壤在浸水後，酸性土的 pH 會上升，鹹性土則下降，經過 2～3 週後達一穩定 pH 值，大約在 6.5～7.2 之間(Ponnamperuma, 1972)。土壤在浸水環境下，氧化還原電位逐漸降低，土壤中的氮素主要以 NH_4^{+}型態存在，和土壤粒子結合，不易淋洗，容易被水稻根系吸收，因此對氮素的有效性較高。當提高土壤水分張力，使得氧化還原電位升高後，NH_4^{+}因爲硝化作用轉變成 NO_3^{-}，而 NO_3^{-}則會因土壤再浸水，容易被淋洗，或經過還原層，因爲脫氮作用，造成氮的損失。Patrick and Wyatt(1964)指出若浸水與乾燥交替將造成 15～20%土壤全氮的損失，Reddy *et al.* (1976)亦有相同的結果。Tolley *et al.* (1986)指出，在低氧化還原狀態下，氮的吸收量最多，當氧化還原電位爲-200 mv 時，根對氮的吸收量最多，並且隨著氧化還原電位的提升，吸收量逐漸減少。對土壤之全氮含量則有相反的影響，當氧化還原電位爲-200 mv 時，其土壤的全氮含量最少，氧化還原電位提高至+500 mv，土壤全氮含量最高。土壤全氮含量與植株內的含量呈相反的關係，顯示當植株吸收減少時，土壤之全氮殘存量相對地提高。土壤中有機質具有均衡及緩慢供應作物生長所需之營養要素成分(王等，1993)、改良土壤物理化學性質(Su, 1987； Fortun *et al.*, 1989； Reganold, 1989)、

維護土壤微生物相與活性，以及減少地下水污染(鄧及黃，1993)等益處。李(2002)於水稻穀粒充實期間進行排水管理，於水稻收穫後調查土壤之理化性質變化行爲，結果 0.03 及 0.06 MPa 二種土壤水分境況管理，土壤中之有機質含量及磷含量均顯著較 0.00 MPa 之處理降低，顯示在乾濕交替的土壤水分管理下，土壤中有機質較容易被分解(表 1)。

表 1. 穀粒充實期間土壤水分境況對土壤理化性質之影響(1998 年二期作及 1999 年一期作)。

Soil moisture regime	pH	O.M. %	Exchangeable K_2O	CaO	MgO	P_2O_5	Fe	Mn	Zn	Cu	EC
				mg/kg soil							mmhos/cm
	Second crop										
0.00MPa	7.66c	4.77a	64b	3394b	352b	51a	573a	135b	50a	9.22a	0.468a
0.03MPa	7.91b	3.90b	61b	3895a	389a	41b	556a	141b	29b	9.33a	0.489a
0.06MPa	8.00a	3.91b	78a	3875a	365ab	43b	563a	158a	48a	9.11a	0.484a
	First crop										
0.00MPa	7.54c	5.30a	63a	3607c	371a	53a	377ab	139c	42b	9.00a	0.532a
0.03MPa	7.76a	4.99b	62a	3920b	338b	38b	363b	153b	37b	8.67b	0.422c
0.06MPa	7.71b	5.20ab	66a	4230a	338b	44b	388a	168a	67a	8.78ab	0.506b

Means with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT for crop, respectively.

根據 IRRI(1978)的報告指出，水稻在浸水的環境下，當土壤總體密度超過 1.2 g/cm^3，根的伸長速率會受到抑制，當土壤水分減少時，在更低的總體密度下就會造成抑制。陳(1991)在不同分蘗期曬田，使 30 cm 深度土壤水分張力達到 0.03 MPa 時，土壤剖面最大穿刺阻力由湛水區之 10 kg/cm^2 以下劇昇到 42 kg/cm^2，俟 30 cm 處土壤水分張力達到 0.08 MPa 時，土壤 18 cm 深度穿刺阻力已達到 58 kg/cm^2，因爲穿刺阻力增加，使得提早於 4 本分蘗期曬田處理之水稻台農 67 號，每株根乾重只有 2.92 g，較對照湛水區減少 8%，根長也由湛水區之每株 8,018 cm 減少爲 2,888 cm，減少 64%，磷的吸收量降低 33%。10 本分蘗曬田處理，其根重最重，但根長仍較湛水區減少 52%。曬田後，磷的有效性降低及土壤穿刺阻力增加是抑制水稻分蘗的重要機制。李(1993)亦由盆栽試驗得到證明，水稻營養生長期一期作台中 189 號在 0.02 及 0.04 MPa 土壤水分境況處理下，根重顯著降低 30 及 34%，台中秈 10 號亦分別降低 46 及 39%，而增施氮肥則可以顯著提高水稻根重(表 2)。Yahata(1976)指出土壤穿刺阻力若超過 10 kg/cm^2 時，會限制水稻根生長。Gerard *et al.* (1982)指出，土壤穿刺阻力隨著土壤質地不同而有差異，其以土壤中粘粒含量進行分析，發現根生長的臨界阻力(即根生長停止時之穿刺阻力值)隨著粘土含量的增加而降低。Thangaraj *et al.* (1990)指出， 稻根的生長由於土壤穿刺阻力變化而有極大的差異，在表土下 0～25 cm 土壤中， 根長密度隨著土壤穿刺阻力的增加而逐漸減少， 當土壤穿刺阻力從 0.1 增加至 1.5 MPa 時，其根長密度減少 40%。Lal(1985) 也指出，隨著總體密度由 1.0 g/cm^3 增加到 2.0 g/cm^3 時，水稻根乾重由 1.54 g 降低至 0.5 g，根的穿透深度也降低，由 19.8 cm 降低至 5.2 cm。黃(1982)指出，表土總體密度和有機質含量有極顯著負相關，富含有機質之土壤總體密度較低，根系穿透阻力較小，在晒田後較不易有過度密實的問題。

由上述結果，顯示土壤在浸水情況下，對水稻根系的發展及養分的有效性，均較為有利。

表 2. 營養生長期土壤水分境況及氮肥施用量對水稻根重之影響(1992 年)。

Soil moisture tension Mpa	Nitrogen fertilizer kg/ha	First crop		Second crop	
		TC189	TCS10	TC189	TCS10
		------------------- g -----------------			
0.00	60	5.8cd	4.9bc	3.4bc	3.6c
	120	7.3bc	5.7b	5.1b	5.5b
	240	11.8a	8.8a	8.1a	9.0a
0.02	60	3.9e	2.8d	2.8c	2.3cd
	120	5.1de	3.1d	3.3bc	2.6cd
	240	8.6bc	3.1d	4.4b	3.6c
0.04	60	3.7e	2.7d	2.7c	3.0cd
	120	4.8de	3.5cd	3.8bc	1.9d
	240	7.5bc	4.7bc	2.5c	2.3cd

Means with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT for crop, respectively.

三、土壤水分境況對水稻生理之影響

一般作物常利用三種方式來抵抗乾旱的傷害，第一種為避旱性，植物以縮短生育期的方式避免乾旱的侵襲。第二種為耐旱性，植物以本身生理的改變，如進行滲透調節(osmotic adjustment)以維持膨壓，使傷害降低，達到存活之目的。第三種為提高水分利用效率，使收穫指數達到最高。

傳統及改良的陸稻栽培種，一般而言是屬於植株較高、分蘗能力較低，但是具有深根及耐旱的特性。水稻則屬於植株半矮或中高，在適當的水分栽培下，能展現較高的生產能力。基於水稻及陸稻因為栽培上水分需求的差異，育種選拔的目標也有所不同(Chang and Vergara,1975)。水在植物組織或細胞內的流動，係受水的化學潛勢控制。Slatyer and Taylor(1960)將水的化學潛勢稱之為水分潛勢(water potential)。O'Toole and Cruz (1980) 以傳統的陸稻栽培種 KP 及水稻栽培種 IR28，在營養生長期間，持續施以 29 天的水分逆境處理，從處理開始第 10 天後，葉片水分潛勢開始顯著降低，IR28 降低的速度較 KP 快，特別在中午時分，IR28 降低的幅度更大。測量參試兩品種的葉片氣孔阻力，則顯示在處理第 10 天以後，葉片氣孔阻力明顯增加，特別是 IR28 的反應更為激烈，而比較其葉片向軸面(adaxial，即葉表)及背軸面(abaxial，指葉背)的氣孔阻力,發現背軸面的氣孔阻力比向軸面的氣孔阻力高，並且隨著水分逆境處理時間延長，其差距更大。造成水分逆境下，葉片兩面氣孔阻力差異的原因，則是在水分逆境處理第十天以後，葉片開始往向軸面捲曲，使得背軸面所暴露的逆境環境比向軸面劇烈,因此導致背軸面的氣孔阻力比向軸面的氣孔阻力為高。Dingkuhn *et al.* (1989a)以 Azucena(陸稻)和 IR20(水稻)二品種為材料，進行三級水分逆境處理，分別每天供水 0.832、0.321 及 0.038 公分，結果也顯示供水量愈少之處理，其淨光合作用速率、葉片氣孔導度及葉片水分潛勢下降愈低，特別在中午降低的幅度最大，兩個參

試品種的反應類似，但是水稻 IR20 的葉片水分潛勢比陸稻 Azucena 低。IR20 葉片水分潛勢在水分逆境下，下降幅度較低，導因於葉片氣孔導度之反應比 Azucena 不敏感，因此氣孔關閉的反應較遲鈍，而有較高的蒸散速率所致。雖然 Azucena 在水分逆境下與 IR20 比較，具有較高的葉片水分潛勢，但 Azucena 在葉片水分潛勢下降到-0.75 MPa 光合作用即開始受到抑制，而 IR20 光合作用則在-1.0MPa 才開始受到抑制，顯示陸稻在水分逆境下，表現出較水稻敏感的光合作用抑制，及較低的葉片氣孔導度。IR20 及 Azuecna 對水分逆境的反應都是經由葉片捲曲，以降低暴露在不利環境中的葉面積，用以降低葉片的蒸散作用，但也因而使得光合作用隨著降低。由葉片捲曲與不捲曲之光合作用對蒸散作用的比值來看，葉片捲曲影響蒸散作用反應比光合作用更明顯，使得稻在水分逆境下，葉片捲曲可以有效改進水分利用效率。

Glaszman(1985)將稻依同功異構酶的多態性 (Isozyme polymorphism)分成六個遺傳族群，印度型稻歸類於第 I 族群，大部分屬於植株半矮、高分櫱和適於水中栽培的；Aus 稻則歸類於第 II 族群，其植株型態和印度型稻相似，但是具有較短的生長期；日本型稻則歸類於第IV族群，大部分屬於植株高、葉長而寬、深根且耐旱。Dingkuhn *et al.* (1989b)以 28 種不同遺傳型稻在種植後第 57 天至 81 天間施以中度的水分逆境處理，結果大部分的 Aus 稻具有較低的葉片水分潛勢,日本型稻則具有較高的葉片水分潛勢，印度型稻居於中間。調查葉片的捲曲程度及氣孔導度與葉片水分潛勢的關係，顯示維持較高葉片水分潛勢的栽培種，具有較高的葉片捲曲程度以及較低的氣孔導度，亦即日本型稻在水分逆境下，對葉片捲曲程度比印度型稻反應更敏感。觀察葉片氣孔導度在水分逆境下的變化，顯示在輕微的水分逆境下，氣孔即具有高度的敏感性。Ludlow(1980)認爲，調整葉片氣孔的啓閉，是作物控制水分過度蒸散之有效方法之一，根據 Henson(1982)的報告，氣孔開始關閉的葉片水分潛勢約在-0.8 MPa 至-1.2 MPa 之間，依栽培種之不同而有差異。調查 28 個不同遺傳型稻在中等水分逆境下的淨二氧化碳同化速率，改良的印度型稻具有較高的淨二氧化碳同化速率，Aus 稻則較低。

植物在缺水下進行滲透調節爲耐旱性重要機制，也是植物適應不良環境重要反應之一。滲透調節具有下列幾種重要的功能：(1)維持細胞的生長。(2)維持氣孔的張開。(3)維持光合作用。(4)增加生產的能力。Turner and Jones (1980)亦認爲在低葉片水分潛勢下，若能經由葉片滲透潛勢之調節作用，使得葉片能維持相當之膨壓，以保持氣孔適度開啓，應有利於作物在乾旱環境下之生長。滲透潛勢之調節，有兩種不同方式：(1)增加細胞內之溶質(Hsiao *et al.*, 1976; Fereres *et al.*, 1978; Culter and Rains, 1978; Ackerson, 1981)。(2)縮小細胞之容積(Culter and Rains, 1977; Jones and Turner,1978; Ackerson and Hebert,1981)。這兩種方式都能增加細胞內溶質之濃度，進而改變其滲透潛勢，而維持膨壓潛勢。Hsiao *et al.* (1984) 以水稻 IR26 爲材料，從停止灌溉後第 16 天開始，葉片水分潛勢開始顯著降低，從第 20 天開始，處理區比對照區滲透潛勢顯著降低，至處理結束,處理區比對照區高出 0.5 到 0.6MPa 的滲透調節能力。Cutler *et al.* (1980)的試驗也有相同的結果，並且發現在滲細胞的彈性增加。因爲在水分逆境下，細胞具有較高的滲透調節能力，因此當遭遇嚴重乾旱脫水時，可以延遲葉片捲曲或稻株之死亡。

上述結果顯示，水稻在缺水情況下，雖然滲透調節可以發揮適當之功能，使氣孔保持適度之開啓，但是當葉片水分潛勢降低，由於氣

孔導度下降，使得光合作用可能會受到抑制。因此在探討節省灌溉水之水分管理方法時，對不同土壤水分張力處理下，水稻各項生理反應，及其對水稻生育之影響，值得進一步加以探討。

四、土壤水分狀況對水稻生育之影響

水稻的生長可分爲三個主要階段：

1. 營養生長期間(vegetative stage)：自種子發芽至幼穗始原體(panicle primordia)發生。

2. 生殖生長期間(reproductive stage)：自幼穗始原體發生至抽穗。

3. 成熟期間(ripening stage)：自抽穗至完熟。

水稻在營養生長期間，主要進行分蘗的產生以及植體的生長。IRRI(1983)報告指出，大部分地區作物產量減少，與水分缺乏、作物根系發展受阻，而影響地上部之生育有關。陸稻的根粗且分佈深，而且有較高的地下部／地上部生質量之比值，然而大部分高產的水稻品種卻具有短而細，分布較淺的根系(Chang *et al.*, 1972; Parao *et al.*, 1976)。Kawata *et al.* (1977) 指出，水稻在長期湛水及間斷灌水栽培下，其冠根數以長期湛水栽培最多，分支根則以間斷灌水栽培較多。Banba and Ohkubo(1981) 將水稻及陸稻施以不同灌溉處理，維持不灌溉處理者，其根系分布在較深層土壤；當土壤水分到達 PF2.5 及 PF2.0 即行灌溉之處理者，根系主要分布在表土層，此現象在一般淺根性之水稻表現尤爲明顯，同時也指出在相同土壤水分張力處理下，水稻在土壤表層 14 公分之根分布約佔 87%，陸稻只有 79%，明顯的表現出水稻之根系較淺，陸稻根系較深之特性。Thangaraj *et al.* (1990)以盆栽試驗持續排水 16 天後，0～20 公分土層穿刺阻力增加至 2.5MPa，使得稻根生長減少 47%。陳(1992) 指出水稻在分蘗期間，排水提高土壤水分張力至 0.08 MPa，分蘗將受到抑制，而顯著減少，同時株高也顯著降低，因爲分蘗數顯著降低，使得產量也顯著降低。1994 年二期作在台中區農業改良場試驗田，使用 8 種秈稻品種及 12 種稉稻品種，於水稻移植後 10 天進行 0.06 MPa 土壤水分境況處理，結果平均株高降低 32.5%，平均穗數則降低 55.8%，稉稻又比秈稻降低的幅度爲大，顯示國內育成的水稻推廣品種，對於水稻生育初期的耐旱性不佳，稉稻又比秈稻的耐旱性爲差(表 3)。李等(1996) 在水稻營養生長期(一期作從插秧後第 14 天，二期作從插秧後第 7 天開始處理)提高 15 公分深土壤水分張力至 0.02 及 0.04 MPa，使得一期作台中 189 號之穗數顯著降低 20.7~29.3%，台中秈 10 號降低 13.9~14.8%；二期作台中 189 號之穗數亦顯著降低 35.9~38.3%，台中秈 10 號則降低 14.4~18.9%。陳等(1996)以 0.01Mpa 土壤水分境況處理盆栽水稻幼苗，試驗結果顯示 0.01MPa 之高土壤水分張力，較湛水可以提高水稻幼苗根活性 65%。秈稻較稉稻有較高的根活性，秈稻在種植後 17 天之根活性，0.01 MPa 高土壤水分張力與湛水處理，分別較稉稻高出 15 及 28%。0.01 MPa 土壤水分張力處理，顯著提昇種植 17 天秈稻之地上部乾重，由每株平均 54 mg 增加至 64 mg，稉稻則沒有顯著差異。

綜合上述結果顯示，水稻生育初期仍以湛水管理較爲有利，不僅田間栽培管理便利，對於養分的有效性及吸收利用效益較大，同時對於雜草的控制較容易。然而，國內第二期作，因高溫及稻草掩埋不當，導致水稻生育初期，土壤中累積過量之微量元素，使水稻生育初期產生養分吸收障礙，導致穗數或一穗粒數顯著降低，而嚴重影響產量等問題，則又必須以適當的排水進行管理。因此水稻生育初期的水分管理，仍存在諸多問題，有待解決。

晒田是水稻栽培過程當中非常重要的工作(特別是水稻有機栽培)，其原因包括：(1)晒田可造成土壤中水份不足，促使水稻根系往下紮根，不僅可以有效預防水稻生育後期倒伏，更可充份利用較深層的土壤養份，有利於水稻後續之生長。(2)晒田可以造成水稻水份及養份吸收不足，而產生生育短暫停滯現象，以有效抑制水稻之無效分蘗及植株過度抽高，並加強植株的硬度，以避免水稻生育後期倒伏。(3)水稻施行有機栽培，土壤因長期湛水造成過度還原狀態，土壤中可能累積有毒物質，不利於水稻生長，晒田則有利於氧化分解。李等(1996)指出一期作在移植後 40 天進行晒田管理，可以使台中秈 10 號及台農 67 號得到最高產量；二期作於移植後 29 天進行晒田管理，可以使台中 189 號最高產量。李等(1996)同時指出，一期作在移植後 36-40 天進行晒田管理，可以降低胴裂粒及屑米率；一期作在移植後 25-28 天進行晒田管理，可以提高完整米率及降低未熟粒，均有助於稻米品質的提升。

表 3. 營養生長期土壤水分境況處理對水稻生育之影響(1994 年二期作)。

Cultivar	0.00MPa Plant height	 Panicle	0.06Mpa Plant height	 Panicle
	cm	no./hill	cm	No./hill
Taichung Native 1	83.4	12.1	57.4	10.8
Taichung 3	78.0	16.6	66.3	11.0
Taichung 10	93.4	16.1	84.2	7.4
Taichung 17	82.9	13.5	73.1	9.2
Taichung Sen Glutinous 1	88.1	15.6	58.2	8.8
Tai Sen 1	92.5	16.3	79.0	8.1
Tainung Sen 20	93.1	16.4	64.9	9.9
Tainung Sen Glutinous 2	94.9	14.8	75.2	10.0
Mean	**88.3(100)**	**15.2(100)**	**69.8(79.0)**	**7.5(49.3)**
Taichung 65	100.8	13.1	64.0	4.3
Tainung 67	92.8	13.8	47.4	6.7
Kaohsiung 142	88.6	16.7	50.7	5.8
Tai Keng 1	87.1	15.5	52.7	5.8
Tai Keng 2	94.6	14.1	55.4	5.4
Tai Keng 3	90.9	16.5	51.0	5.0
Tai Keng 4	86.5	14.6	45.4	6.4
Tai Keng 5	91.2	12.5	52.0	5.0
Tai Keng 6	92.7	11.6	48.0	4.7
Tai Keng 7	89.2	12.7	53.7	5.6
Tai Keng 8	92.0	15.2	57.7	4.2
Tai Keng 9	100.2	12.0	47.6	5.3
Mean	**92.2(100)**	**14.0(100)**	**52.1(56.5)**	**5.4(38.6)**

水稻生殖生長期間可分爲幼穗分化期及抽穗期，此二個時期對水分逆境反應最爲敏感。稻之幼穗形成期是穎花分化及一穗粒數決定的時期，此一時期環境因素的改變，將影響產量構成要素之一穗粒數及稔實率。Ofelia and O'Toole(1986) 指出，在花粉形成期間因水分逆境引起稔實率降低，是導致產量降低的主要原因。在減數分裂期間以不同程度的水分逆境處

理，每穗稔實率隨著劍葉水分潛勢降低而直線下降。葉片水分潛勢在-1.1 MPa(對照組)時稔實率爲 80%，當葉片水分潛勢降低至-3.5MPa 時，稔實率降低至 50%，對產量有顯著的影響。經進一步分析花粉母細胞減數分裂過程，在水分逆境下有較多不正常的染色體發生，以及未成熟、白色的小穗發生，萎縮小穗的數目隨著葉片水分潛勢的降低而增加。稻之抽穗期包括穗軸抽出、外內穎開啓及授粉等過程，此時期與產量構成要素之稔實率有關。Cruz and O'Toole(1984)以最大蒸發散量做爲稻株需水的指標，在開花期間當蒸發散量低於最大蒸發散量 30%以上時，即土壤中水分不足最大蒸發散量 30%以上時，產量即呈直線遞減，產量降低的原因爲稔實率下降所致，同時也指出在抽穗期間，葉片水分潛勢與穗軸抽出葉鞘的抽出度有顯著的直線關係，平均約有 30% 的不稔率是由於穗包覆在葉鞘中不能抽出所致。故在抽穗期水分供應不足植株所需時，由於不稔實率增加以及穗抽出困難，造成稔實率的降低，對產量有鉅大的影響。由以上結果說明，無論是在水稻穎花形成期或是抽穗期，均需提供充分的水分，才能得到完整的穎花及穎花數，抽穗及授粉正常完成，以獲得最高的產量。

水稻之穀粒充實期是光合產物急速累積的時期，此期間缺水對於產量構成要素之稔實率及千粒重會有重要的影響，而影響穀粒充實的因子爲光合產物累積速率及累積期間的長短。莖及葉鞘於開花前貯存的光合產物，在缺水而光合作用受限時，可提供作爲穀粒充實的供源(Source)，扮演重要的角色。在開花後第一天至第十天之間以劍葉相對水分含量 95～97%處理，使得處理區由植株開花前所貯存的光合產物轉移至穀粒者佔穀粒乾物質重量 25.6%，而對照區則只佔 14.6%，其餘的光合產物靠葉片在開花後進行光合作用，而後轉運至穀粒中(小葉及高見，1981)。Rahman and Yoshida(1985)在開花後第三天起分別以田間容水量 100%、75%及 50%之土壤水分處理，維持至成熟期結束，結果當水分降低至田間容水量 50% 時，產量明顯降低 16～20%，造成產量降低的主要原因爲穀粒的充實速率降低所致，對穀粒充實期間的長短則沒有影響。李(2002)於水稻穀粒充實期間，施以-0.03 MPa 之土壤水分管理，水稻之產量均降低，顯然進行-0.03 MPa 之排水管理，已影響水稻對養分之吸收(表 4)。李等(1993)在水稻齊穗後提高土壤水分張力(-0.02 及-0.04MPa)處理，經由多項式迴歸分析，顯示在穀粒充實期，適當減少灌溉水，一期作提高土壤水分張力至-0.018 MPa，二期作則提高至-0.027 MPa 做爲灌溉起點，可以得到最高的產量。提高土壤水分張力，則白米中粗蛋白質含量有降低之趨勢，顯示提高土壤水分張力情況下，土壤中有機質礦化所產生之氮素，僅小部份爲水稻吸收利用，大部分可能經由淋洗或脫氮作用而流失(表 4)。因此水稻於生育後期，當水稻植株有累積過量氮素時，可利用適當的排水管理，以降低水稻對氮素的吸收，對稻米品質將有顯著的提昇效果。

五、結語

綜合上述結果顯示，國內育成之水稻推廣品種，於水稻生育初期耐旱性低，粳稻品種耐旱性又較秈稻品種爲差。因此耐旱性水稻品種選育，應考慮增列爲爾後國內的育種目標，已備不時之需。以國內目前推廣之水稻品種而言，水稻對缺水的反應極爲敏感。因爲水稻在不同的生長階段，根系的發展及植株的型態均有差異，對水分的需求及吸收水分的能力必然也不一樣，因此必須針對水稻不同生育時期分階段進行管理，方能獲得合理之稻田水分管理方法。

表 4. 穀粒充實期間土壤水分境況對水稻農藝性狀之影響(1999 年一期作及 1998 年二期作)。

Soil moisture regime	Panicles	Spikelets	Seed setting	1,000-grain weight	Yield	Harvest index
	no./hill	no./ panicle	%	g	kg/ha	
	First crop					
0.00Mpa	10.51b#	140a	89.87a	26.23a	7057a	0.513a
0.03Mpa	10.58b	137a	89.78a	26.28a	6717b	0.521a
0.06Mpa	11.16a	138a	89.05a	25.55b	6597b	0.525a
	Second crop					
0.00Mpa	7.89b#	108a	79.24a	24.40b	3798a	0.449a
0.03Mpa	8.07b	105b	74.73b	24.73a	3577b	0.445a
0.06Mpa	8.95a	107ab	73.79b	24.34b	3665ab	0.420b

#Means with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

表 5. 穀粒充實期間土壤水分境況對水稻碾米品質及化學性質之影響(1999 年一期作及 1998 年二期作)。

Soil moisture regime	Brown rice	Milled rice	Head rice	Amylose	Crude protein	Gel consistency
	------------------------%------------------------					mm
	First crop					
0.00Mpa	80.00b#	71.06a	66.02a	15.39a	6.23a	96.63b
0.03Mpa	80.28a	71.18a	65.13b	14.98b	6.26a	97.69a
0.06Mpa	80.15ab	71.18a	64.86b	15.39a	5.99b	97.36a
	Second crop					
0.00Mpa	79.10a	71.22a	65.85ab	18.81c	6.69a	59.44c
0.03Mpa	79.12a	71.32a	66.25a	20.47b	6.56b	61.89a
0.06Mpa	79.03a	71.06a	65.68b	20.77a	6.52b	60.81b

#Means with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

四、引用文獻

小葉田亨、高見普一。1981。登熟初期の水ストレスがイネの穀實生長,乾物分配および玄米收量に及ぼす影響 日作紀 50(4): 536-545。

王銀波、趙震慶、黃山內。1993。永續性農耕法對土壤性質與養分供應量之影響。p.9-17。永續農業研討會專集。台中區農業改良場編印,彰化縣。

李健择。1993。土壤水分境況對水稻生育及稻米品質之影響。碩士論文。國立中興大學農藝研究所。

李健择、陳世雄。1994。營養生長期土壤水分境況對水稻生育之影響—對產量及產量構成要素之影響。臺中區農業改良場研究彙報 42: 29-40。

李健择、宋勳、陳世雄。1996。營養生長期提早斷水對水稻生育之影響。臺中區農業改良場研究彙報 50: 1-9。

李健择、宋勳、陳世雄。1996。營養生長期提早斷水對稻米品質之影響。臺中區農業改

良場研究彙報 51:31-39。

李健捀。2002。有機質肥料對土壤及水稻生育之影響。博士論文。國立中興大學農藝研究所。

黃明輝。1982。影響水稻生產之土壤物理性檢定。中華農業研究 31(4): 347-352。

陳世雄。1991。晒田對水稻磷之吸收及分蘗之影響 中華農藝 1: 277-291。

陳世雄。1992。土壤還原電位對水稻根活性與光合作用之影響。中華農藝 2: 169-181。

陳世雄、張倩玉、李健捀。1996。高土壤水分張力對水稻幼苗期根活性及生育之影響。中華農藝 6: 27-33。

鄧耀宗、黃伯恩。1993。台灣永續農業之現況與展望。p.1-8。永續農業研討會專集。台中區農業改良場編印，彰化縣。

Ackerson, R.C. 1981. Osmoregulation in cotton in response to water stress. II. Leaf carbohydrate status in relation to osmotic adjustment. Plant Physiol. 67: 489-493.

Ackerson, R. C. and R. R. Hebert. 1981. Osmoregulation in cotton in response to water stress. I. Alterations in photosynthesis, leaf conductance, transpiration, and ultrastructure. Plant Physiol. 67:484～488.

Banba, H. and T. Ohkubo. 1981. Relation between root distribution of upland crops and their yield. III. Influence of soil moisture levels on root distribution and root dry matter of upland-cultured paddy rice, crossbred rice of paddy rice and upland rice. Jap. Crop Sci. 50:1-7.

Black, C.A. 1968. Soil-Plant Relationship. John Wiley & Sons, Ins., New York

Chang, T. T., G. C. Loresto and O. Tagumpay. 1972. Agronomic and growth characteristics of upland and lowland rices. p.645-661. *In:* Rice Breeding. IRRI, ed. International Rice Research Institute, Los Banos, Luguna, Philippines.

Chang, T.T. and B.S. Vergara. 1975. Varietal diversity and morphoagronomic characteristics of upland rice. p.72-90. *In:* Major Research in Upland Rice. IRRI, ed. International Rice Research Institute, Manila, Philippines.

Clark, F., D. C. Nearpass and A. W. Specht. 1957. Influence of organic additions and flooding on iron and manganese uptake by rice. Agron. J. 48: 586-589.

Cruz, R.T. and J. C. O'Toole. 1984. Dryland rice response to an irrigation gradient at flowering stage. Agron. J. 76:178-183.

Culter, J.M. and D.W. Rains. 1977. Effects of irrigation history on response of cotton to subsequent water stress. Crop Sci. 17: 329-335.

Culter, J. M. and D. W. Rains. 1978. Effects of water stress and hardening on the internal water relations and osmotic constituents of cotton leaves. Plant Physiol. 42: 261-268.

Culter, J. M., K. W. Shahan and P. L. Steponkus. 1980. Alteration of the internal water relations of rice in response to drought hardening. Crop Sci. 20: 307-310.

Dingkuhn, M., R. T. Cruz, J. C. O'Toole and K. Dorffing. 1989a. Net photosynthesis, water use efficiency, leaf water potential and leaf rolling as affected by water deficit in tropical upland rice. Aust. J. Agric. Res. 40: 1171-1182.

Dingkuhu, M., S. K. De Datta, K. Dorffling and C. Javellana. 1989b. Varietal differences in leaf water potential, leaf net CO_2 assimilation, conductivity and water use efficiency in upland rice. Aust. J. Agric. Res. 40: 1183-1192.

Fereres, E., E. Acevedo, D. W. Henderson and T.

C. Hsiao. 1978. Seasonal changes in water potential and turgor maintenance in sorghum and maize under water stress. Physiol. Plant. 44: 261-267.

Fortun, A., C. Fortun and C. Ortega. 1989. Effect of farmyard manure and its humic fractions on the aggregate stability of a sandy loam soil. J. Soil Sci. 40:293-298.

Gerard, C. J., P. Sezton and G. Shaw. 1982. Physical factors influencing soil strength and growth. Agron. J. 74: 875-879.

Glaszmann, J. C. 1985. A varietal lassification of Asian cultivated rice(*Oryza sativa* L.) based on isozyme polymorphism. p.83-90. In: Rice Genetices. IRRI, ed. International Rice Research Institute, Manila, Philippines.

Gotoh, S. and K. Yamashita. 1966. Oxidation-reduction potential of a paddy soil in situ with special reference to the production of the ferrous iron, manganeous manganese and sulfide. Soil Sci. Plant Nutr. 12: 24-32.

Henson, I. E. 1982. Abscisic acid and water stress of rice (*Oryza sativa* L.) : sequential responses to water stress in the leaf. Ann. Bot. 50: 9-24.

Hsiao, T. C., E. Acevedo, E. Fereres and D. W. Henderson. 1976. Stress metabolism, water stress, growth and osmotic adjustment. Phil. Trans. R. Soc. London. B. 273: 490-500.

Hsiao, T. C., J. C. O'Toole, E. B. Yambao and N. C. Turner. 1984. Influence of osmotic adjustment on leaf rolling and tissue death in rice (*Oryza sativa* L.). Plant Physiol. 75: 338-341.

IRRI. 1963. Annual Report. Los Banos, Philippines.

IRRI. 1978. Annual Report. Los Banos, Philippines.

IRRI. 1983. Annual Report. Los Banos, Philippines.

Jones, M. M. and N. C. Turner. 1978. Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficit. Plant Physiol. 61: 122-126.

Jugsujinda, A. and W. H. Patrick, Jr. 1977. Growth and nutrient uptake by rice in a flooded soil under controlled aerobic-anaerobic and pH conditions. Agron. J. 69 :705-710.

Kawata, S. I., M. Katano and K. Yamazaki. 1977. Root system formation in rice plants in ill-drained and well-drained paddy field condition. Jap. J. Crop Sci. 46: 261-268.

Kung, P. 1971. Irrigation agronomy in monsoon Asia. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

Lal, R. 1985. Tillage in lowland rice-based cropping systems. p.283-307. Soil Physical and Rice.

Ludlow, M. M. 1980. Adaptive significance of stomatal response to water stress. *In:* Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress. N.C. Turner and P. J. Kramer, eds. A Wiley-Interscience Publication. New York.

Ofelia, S. N. and J. C. O'Toole. 1986. Reproductive stage water stress and sterility. I. Effect of stress during meiosis. Crop Sci. 26:317-321.

O'Toole, J. C. and R. T. Cruz. 1980. Response of leaf water potential, stomatal resistance, and leaf rolling to water stress. Plant Physiol. 65: 428-432.

Parao, F. T., E. Paningbatan and S. Yoshida. 1976. Drought resistance of rice varieties in relation to their root growth. Phil. J. Crop Sci. 1: 50-55.

Patrick, W. H., Jr. and R. Wyatt. 1964. Soil nitrogen loss as a result of alternate

submergence and drying. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 647-653.

Patrick, W. H., Jr. and I. C. Mahapatra. 1968. Transformation and availability to rice of nitrogen phosphorus in waterlogged soils. Adv. Agron. 20: 323-357.

Ponnamperuma, F. N., R. Bradfield and M. Peech. 1955. Physiological disease of rice attributable to iron toxicity. Nature. 175-265.

Ponnamperuma, F. N. 1967. Dynami aspects of flooded soil and the nutrient of the rice plant. p. 295-328. *In:* The Mineral Nutrition of the Rice Plant. IRRI, ed. International Rice Research Institute, Manila, Philippines.

Ponnamperuma, F. N. 1972. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron. 24: 29-96.

Ponnamperuma, F. N. 1976. Physicochemical properties of submerged soils in relation to fertility p.1-26. *In:* The Fertility of Paddy Soils and Fertilizer Applications for Rice. FFTC/ASPAC, ed. Taipei, Taiwan.

Rahman, M. S. and S. Yoshida. 1985. Effect of water stress on grain filling in rice. Soil Sci. Plant Nutr. 31(4): 497-511.

Reddy, K. R., W. H. Patrick, Jr. and R. E. Philips. 1976. Ammonium diffusion as a factor in nitrogen loss from flooded soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 40: 528-533.

Reganold, J. P. 1989. Comparison of soil properties as influenced by organic and conventional farming systems. Amer. J. Alternative Agri. 3:144-155.

Slatyer, R. O. and S. A. Taylor. 1960. Terminology in plant and soil-water relatrions. Nature 187: 922.

Su, K. C. 1987. Evolution of rice-based cropping pattern in Taiwan. p.37-47. *In:* Paddy Field Diversion and Upland Crop Production. Sung Ching and Dah-Jian Liu, eds. Special Pub. No.7 of Taichung DAIS, Chang-Hua, Taiwan.

Takai, Y., Y. Koyama and T. Kamura. 1956. Microbial metabolism in reduction process of paddy soils. Part I. Soil and Plant Food. 2: 63-66.

Thangaraj, M., J. C. O'Toole and S. K. De Datta. 1990. Root response to water stress in rainfed lowland rice. Expl. Agric. 26: 287-296.

Tolley, M. D., R. D. Delaune and W. H. Patrick, Jr. 1986. The effect of sediment redox potential and soil acidity on nitrogen uptake, anaerobic root respiration, and growth of rice (*Oryza Sativa*). Plant Soil 93: 323-331.

Turner, N. C. and M. M. Jones. 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment : review and evaluation. *In:* Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress. N. C. Turner and P. J. Kramer, eds. Wiley-Interscience Publication. New York.

Yahata, T. 1976. Physical properties of paddy soils in relation to their fertility p.28-35. *In:* The Fertility of Paddy Soils and Fertilizer Applications for Rice. FFTC/ASPAC, ed. Taipei, Taiwan.

Soil and Growth of Rice as Affected by Soil Moisture Regime

Jiann-Feng Lee *[1] and Shih-Shiung Chen[2]
[1]Taichung District Agricultural Improvement Station, COA, Chang-Hua, Taiwan, ROC
[2]Department of Agronomy, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC
E-mail:lijiafen@tdais.gov.tw

ABSTRACT

Rice varieties bred in Taiwan had lower tolerance to drought in the vegetative growth stage. Generally drought tolerance in Japonica rice is lower than that of Indica rice. The advantages of submerged condition in the vegetative growth are that it provides more available soil nutrient and higher uptake efficiency. For rice grown in the second cropping season, it is suggested to practice soil-drying cycle at 29 days after transplanting to improve unfavorable soil environment. A depth of 5-7 cm irrigation is required in both the primary panicle formation stage and heading stage. During grain filling stage, results from field experiments showed that reduced irrigation water may give higher grain yield. The high soil moisture tension during grain filling stage reduced crude protein content of rice grain. When rice plant accumulated more-than-enough nitrogen content during grain filling stage, high soil moisture tension can reduce nitrogen uptake in rice and thus induce positive effect to grain quality.

Key words: Rice, Soil, Soil moisture regime, Yield, Rice quality.

農業氣象災害調查與防護技術
水稻田水資源及水分利用效率之探討
167-180, 2003

水稻田水資源及水分利用效率之探討

姚銘輝*、漆匡時
行政院農業委員會農業試驗所農工組
E-mail: mhyao@wufeng.tari.gov.tw

摘要

摘要 ---------- 168
一、前言 ---------- 168
二、水資源利用概況 ---------- 169
三、農業用水所面臨之挑戰 ---------- 169
四、水稻之水分利用效率 ---------- 170
五、水稻對乾旱之反應 ---------- 172
六、耐旱性機制之探討 ---------- 172
七、田間水資源評估之研究 ---------- 174
八、結語 ---------- 175
九、引用文獻 ---------- 175
ABSTRACT ---------- 179

水稻田水資源及水分利用效率之探討

姚銘輝*、漆匡時
行政院農業委員會農業試驗所農工組
E-mail: mhyao@wufeng.tari.gov.tw

摘要

我國年平均降雨量高達 2,500 公厘以上， 和世界年平均降雨量相較，是屬於雨量豐沛的區域，然而，受限於地形和季節因素的影響，河流短促且降雨分布不平均，多數雨水逕流入海，在豐水期的逕流量高達 85 %以上。因此，如何有效的調控水資源，以滿足各項用水需求是重要的課題。水稻是我國種植面積最廣，同時也是需水量最大的糧食作物，如何開發水分管理系統以減少灌溉用水量及增加水分利用效率是需要努力的工作。水稻水分利用效率數值在 0.5-1.6 g kg^{-1} 間，若以進水量作爲基值，水分利用效率大約爲 0.3-0.7 g kg^{-1}，均較小麥(0.8-1.6 g kg^{-1})及玉米(1.6-3.9 g kg^{-1})爲低。偏低的原因爲水田較其他作物有較高的滲漏及滲流，這種無助於水稻生產之耗水量，主要在於整田及生育期間維持湛水狀態所致。作物缺水時，光合作用下降主要是氣孔關閉所致，而 CO_2 同化的限制使電子傳送反應受阻，有過多還原力造成活化氧族的產生，導致光氧化及光抑制的傷害。作物有複雜的抗氧化系統以對抗活化氧族的傷害，在不同耐旱程度之品種或基因型，降低氧化傷害和增加抗氧化系統有密切關係。

關鍵詞：水稻、水資源、水分利用效率、耐旱性、螢光。

一、前言

傳統農業遭受最多批評之處，在於使用與產值不成比例的自然資源，包括土地及水資源。水稻田是我國農地所佔面積最大，同時也是水資源利用最多之作物。雖然過去對於水稻水分逆境研究甚多，但僅限於盆缽或小面積試區所做的結果，對於實際水田用水情形缺乏全面性的瞭解，無法對需水量作精確估算，常造成灌溉管理的困擾，影響水源分配及造成政策制訂上的盲點。此外，我國在加入 WTO 後，農業生產面臨轉型，加上工業及民生用水的增加，致使過去農業用水方式(例如漫灌)受到批判。而近年所研議之水權及水費徵收問題，都將使產值偏低的農業生產面臨更大的挑戰。本文首先針對我國農業水資源利用情形及未來將面臨的危機作介紹，另水稻田用水占農業用水的三分之二以上，因此水稻水分利用效率及栽培方式的改進對水資源調配非常重要。而在水資源短缺時，對水稻耐旱機制的瞭解有助於節水措施的研擬，故最後將介紹精確量測田間需水量的方法及有待解決的問題。

二、水資源利用概況

地球表面約 70％爲海洋，30％爲陸地，但地球上的水約 97％爲海水，剩下 3％爲淡水和南北兩極的冰水，其中容易被人類利用的水僅佔全部水量的 0.008％，約 10.5 萬立方公里(km^3)。如果以標的用水的分配而言，農業用水佔最大部份，約爲 70％，工業用水爲 20％，生活用水爲 10％。台灣地區總用水量約 185 億立方公尺／年(經濟部水資源局 2001)，農業用水佔 69％，工業用水佔 11％，生活或民生用水佔 20％。水資源的來源主要以降雨及地下水源爲主，我國屬海洋性亞熱帶氣候，年平均雨量高達 2,500 公厘以上，爲世界年平均雨量 970 公厘的 2.7 倍。然而受限於地形和季節因素，河流短促且降雨分布不平均，多數雨水逕流入海，在豐水期的逕流量高達 85 %以上，使得雨水實際利用率偏低。爲維持穩定供水，興建水庫可對枯豐水期的需水作適當調節，可惜我國的地質容易淤沙而不宜興建水庫。縱使勉強增建，在水庫壽命不長的情況下，不但經濟效益不高，對整體環境的衝擊也不容忽視。近年來水庫興建問題更因政治力的介入，使得壩址的選定更形複雜。

三、農業用水所面臨之挑戰

臺灣地區農業用水自 1991 年起，總可用水量逐年減少，其中以灌溉用水減少最多，主要原因是乾旱缺水。尤其是一期作插秧期無法提供充足水源最爲常見，原因除集水不易及氣候不穩定外，灌溉水移作其他用途也是原因之一。以嘉南農田水利會爲例，1992 年全年的實際用水不及計畫用水的 70%，被移用的農業用水在五千萬立方公尺以上。由此可知，農業用水本身已呈現不足，而在遭逢缺水的情形下，又常需將原本已不敷使用的灌溉用水移作他用，更加劇農業的缺水現象，而不得不以休耕因應。2002 年嘉南農田水利會所轄地區，因缺水而導致休耕面積達二萬公頃。雖然目前農業政策鼓勵休耕及轉型，農地逐步釋出，灌溉面積減少，似乎農業灌溉用水應有剩餘。但事實上，由於缺乏整體規劃，休耕區域十分零星，灌溉區四處分散，不但破壞原先的灌溉系統，更增加田間營運之管理費用與用水量。另一方面，由於目前都市及工業區不斷擴展，水質受都市污水及工業廢水排放之污染，灌溉用水需要更多量水源稀釋污水，才能維持正常的農業生產。另就水資源的分配而言，根據我國水利法第二條規定，水爲天然資源，屬國家所有，不因人民取得土地所有權而受影響。同時第十八條也規定，各用水標的的順序依次爲家用及公共給水、農業用水、水力用水、工業用水、水運與其他用途。因此，農田灌溉用水屬國家所有而非私人，並且除提供民生用水外，在水資源分配上，以農業用水爲優先。惟由於工業用水的經濟產值高出農業用水甚多，農業水權在水田面積減少，產值萎縮的趨勢下，不僅需提供其他用水標的使用外，更面臨未來必須逐步釋出水權的壓力。因此，就農業用水而言，絕非外界想像中的充裕。

灌溉用水直接由河川取用者佔 80%，水庫或埤池供水佔 10%，其餘 10%分別爲地面回歸水及地下水。農田灌溉用水量有其時間性與地區性的差異，灌溉用水使用的尖峰集中在整田及插秧時期，其餘時期僅在維持地面湛水，用水量較少。由於我國二期作與翌年一期作間之冬季屬於旱季，河道乾枯及水庫蓄水量不足情形下，若 2、3 月春雨不足時，則乾旱缺水壓力即顯現。二期作因颱風所帶來豐沛雨量，所面臨的農業氣象災害反而爲水害。因爲降雨分佈在時間上的差異，導致用水分配上的困難及供給水源系統的不同，以抽取地下水提供灌溉爲例，第一期作抽取量約爲第二期作

1.5~3.0 倍之間，因此面臨缺水壓力大多集中在一期作。

氣候變遷對水資源的影響評估有相當多研究報告，基本上認爲，溫室效應使溫度昇高而加速水文循環，改變降水的分佈，影響逕流的大小和時間，及淹水和乾旱的強度和頻度。依據 IPCC(2001)研究報告指出，全球大部分地區淡水水資源在氣候變遷的預估下都呈枯竭的情形。依據童(1997)以大甲溪爲例的研究發現，未來二倍 CO_2 時，我國雨量增加 4%，但豐水期增加 7%，枯水期卻減少 3%。由此可知，未來降雨呈極端化，豐水期(夏季)雨量增多，逕流增大，對農作物造成降水傷害；枯水期(冬季)則降雨日數減少，溫度昇高結果，加速蒸發散，使水資源更形緊縮。

四、水稻之水分利用效率

比較作物需水量或耗水量的差異，常用水分利用效率(water-use efficiency；WUE)作爲評估的標準。Viets(1962)以農藝觀點對 WUE 作以下的定義：

WUE ＝ 作物產量(通常指經濟產量)／生產此產量之用水量。

如果將使用水量的來源及用處再作區分，則爲

$$WUE = 作物產量 / (Pe + I + Sw)$$

其中，Pe：有效降雨量；I：灌溉用水量；Sw：作物根圈之土壤水分缺少量。

就上式而言，忽略土壤滲漏、地下水利用及表面逕流(runoff)，因此，Howell (2001)將 WUE 更進一步定義爲

$$WUE = \frac{(HI \times DW)}{\{T(1-Wc)[1+(E/(P+I+Sw-D-Q-E))]\}}$$

其中，HI：收穫指數(產量／乾物重)；DW：乾物重(全株各器官之乾重)gm^{-2}；T：蒸散作用(mm)；Wc：標準水分含量(Standard water content)(玉米爲 0.15－0.155，其他穀類爲 0.14)；E：土壤蒸發量(mm)；D：根圈以下之滲漏量；Q：表面逕流量。

雖然上式所定義之用水量是生產該產量所需水量的總量，但是所受的影響因子極多，包括滲漏(percolation)和滲出(seepage)兩項非用於水稻生產的耗水量，兩項總和佔總用水量的 50-80％(Sharma 1989)。因此就水稻生長之需水量可定義爲(Tanner and Sinclair 1983)

$$WUE = Y / ET$$

其中，ET：包括土壤表面蒸發及葉片經由氣孔之蒸散量。ET 可由水田能量平衡式得到，單位可用 Wm^{-2} 和 KJ $m^{-2}s^{-1}$ 表示。

$$ET = Rn - G - H - P$$

其中，Rn：淨輻射量；G：土壤熱通量；H：可感熱(sensible heat)及 P：光合成通量。

表 1 爲整理相關文獻所得到水稻、小麥及玉米之水分利用效率的數值。水稻數值(WUE_{ET})範圍極廣，由 0.5-1.6 g kg^{-1} 間，若以進水量作爲基值，則水分利用效率大約爲 0.3-0.7 g kg^{-1}，均較小麥(0.8-1.6 g kg^{-1})及玉米(1.6-3.9 g kg^{-1})爲低。較低的原因爲水田較其他作物有較高的滲漏及滲流，而如果將整田所用的水也加入計算，則水稻數值將更低至 0.25-0.6 g kg^{-1}。Revelle(1963)指出 4000 公升的水才生產 1 公斤的稻米，相反的，小麥僅需要 1000 公升，這主要是栽培差異所致。在傳

統移植方式種植水稻，農民一般會以較高之湛水深度種植，以控制田間雜草及減少灌溉頻率，這會造成滲漏量的增加，同時，長時間表土湛水增加蒸發量，也是水稻生產相同穀物重量需較多水量的原因。此外，水分利用效率數值變化大之原因，和作物栽培及管理技術有密切關係。在亞洲熱帶地區的灌溉水稻產量為4-6 t ha^{-1}，但管理良好可達 10 t ha^{-1} (Peng *et al.,* 2000)。因此，水分利用效率之差異受除水分提供量外，能影響產量之作物管理方式，如土壤營養、行株距和種植時間(Turner 1997)皆是影響因素。

表 1. 水稻、小麥及玉米之水分利用效率比較，以穀粒產量／蒸發散量(WUE_{ET})及穀粒產量／田間進水量(WUE_{IF})兩種方式表示。

WUE_{ET}	WUE_{IF}	Source of data	Location
Rice			
1.1	0.45	Sandhu *et al.,*(1980)	India
0.95	0.66	Kitamura(1990)，dry season	Malaysia
0.88	0.48	Kitamura(1990)，Wet season	Malaysia
0.89	0.34	Mishra *et al.,*(1990) continuous flooding	India
0.89	0.37	Mishra *et al.,*(1990)	India alternate wetting and drying
1.61	0.68	Bhuiyan *et al.,*(1995)	Philippines wet－seeded rice
1.39	0.48	Bhuiyan *et al.,*(1995) transplanted rice	Philippines
0.4－0.5		Khepar *et al.,*(1997)	India
Wheat			
0.65	0.8	Sharma *et al.,*(1990)	India
0.87	0.79	Pinter *et al.,*(1990)	
1.0－1.5	1.0－1.6	Deju and Lu Jingwen(1993)	China
1.0－2.0		Turner(1997)	Australia
Corn			
2.8	2.2－3.9	Stegman(1982)	USA
1.7－2.1	1.6－1.7	Stockle *et al.,*(1990)	USA
1.9－2.8	1.9－2.5	Moridis and Alagcan(1992)	Philippines

許多探討水稻灌溉深度和持續時間的研究結果證明，連續淹湛並非是獲得高產的基本條件。Singh *et al.,*(1996)指出水稻田僅用非常薄的水層，田間飽合水或乾濕交替均可減少田間用水量 40-70 %(和傳統連續湛水灌溉相比)，且不影響產量。在改進水稻水分利用效率可由四個方向加以思考(Wallace and Batchelor 1997)。(i)經由作物育種或栽培管理增加收穫指數。(ii)經由品種選育及作物育種減少蒸散比例。(iii)提高乾物重產量，經由施肥、病蟲害防治和適當行株距等管理措施。(iv)由水分平衡中減少蒸散組成份，例如利用殘留物覆蓋以減少土壤水分蒸發及表面逕流。就上述四項增加水分利用效率的策略中，(i)及(ii)較難立即改善，事實上，品種選育除水分利用效率外，尚有其他的考量(如品質)，是屬於長

期性的目標。(iii)則有較多的研究，主要利用精準化農耕，詳細評估所需投入項(如肥料、農藥及水分等)的時機及在田間分布情形，以達到最大效率。(iv)包括目前使用之節水技術，以增加降雨量截取，並改善灌溉技術以避免操作上之損失。

五、水稻對乾旱之反應

水稻遭受缺水逆境時之徵狀及生理反應，Bouman and Tuong (2001)綜合多篇報告分別描述如下：

水稻在乾旱環境時，抑制新生葉片及葉面積減少，導致葉片生長延遲和減少對光線的截取，使群落光合作用下降，同時也影響細胞分化及增大，尤其細胞增大對乾旱敏感度高。

氣孔關閉導致葉片蒸散速率和光合作用速率的降低。當土壤水分含量低於飽合水以下，葉片蒸散作用即開始下降，但葉片氣孔的關閉並非立即關閉，因此光合作用在氣孔關閉前仍可維持一段時間，但此時之同化物質並非用於葉片生長或伸展，而是儲存於現存之葉、莖或根中，當乾旱逆境減緩，同化物再轉爲供葉片生長之用。

1.水稻葉片捲曲減少對光線截取之有效葉面積，但也減少水分的散失，而當乾旱逆境減緩則恢復原來面積，是針對逆境的一種適應方式。

2.改變同化物分配情形。根部在乾旱時生長較爲快速，尤其是深根可截取土壤深層之水分。

3.加速葉片老化及分蘗數減少。分蘗期遭遇乾旱將減少分蘗數和每叢穗數，但如果乾旱及時結束，此時同化物供源大小仍足夠大，所短缺之分蘗數和穗數，可由每穗粒數及千粒重的增加而獲得補償。

水稻在營養期缺水雖不致於使產量大幅減少，但會延遲開花及延長生育時間，但如果在生殖期缺水則會導致水稻減產(Wopereis *et al.,* 1996)。水稻整個生育過程中，對乾旱最敏感在於幼穗發育到開花這段時間(Cruz and O'Toole 1984)。始穗期缺水影響穎花基原體(spikelet primordia)數目，而在減數分裂或開花期，小花不稔數增加，減少榖粒充實比率。事實上，水稻在生殖期一系列的發育過程中，通常較少彈性和補償能力(O'Toole and Chang 1979)，因此在始穗期缺水對後續產量有極大影響。而榖粒充實期對於乾旱較不敏感，因爲此時由營養器官傳送同化物質至榖粒較不受乾旱影響(Kobata and Takami 1983)，甚至在遭受中度缺水反而增加榖粒充實速率，使充實粒數及產量增加 (Yang *et al.,* 2001)。乾旱環境之榖粒品質，受小穗內榖粒不同充實速率和同化物的競爭影響，這主要受品種特性之基因型的影響最大 (Cheng *et al.,* 2003)。

六、耐旱性機制之探討

作物遭受乾旱逆境時，葉片氣孔關閉，影響 CO_2 的吸收，但有些作物耐旱性甚強，當葉片相對水分含量(relative water content；RWC)低於 70 % 時，最大光量子產量和光合作用能力(capacity of photosynthesis)才有明顯下降(Kaiser 1987)。作物在乾旱環境時，葉綠體內部的 CO_2 濃度偏低，這可由螢光反應(Cornic and Briantais, 1991)或同位素 $^{18}O_2$ 吸收情形(Tourneax and Peltier 1995)得到証明。但在無或低淨 CO_2 同化作用進行時，電子傳遞速率(electron transfer rate)仍維持在 75 % (Asada, 1999)，顯示葉片內 Rubisco 的氧化作用增加，也就是 Rubisco 對 O_2 反應比例增加(進行光呼吸作用)以消耗電子。事實上，增加光呼吸及 Mehler 反應速率是防禦乾旱的一種機制，以保護 PSII 在乾旱和高光環境下之穩定度(Park

et al., 1996)。當乾旱使氣孔關閉及 CO_2 呼吸量減少，在正常光照下即可能發生光傷害，這是光能利用和 PS II 使用不平衡所致(Powles 1984)。雖然光傷害會在各種光強下發生，但植體本身的修補機制也維持進行，所以光抑制不見得會出現，主要決定於光傷害程度及修補機制間的平衡(Baroli and Melis 1998)。有些研究指出 PS II 光化學反應在中度缺水時不受影響，如果是嚴重缺水則影響兩種光系統(PS I 及 PS II)，同時光化學胞器和葉片光合作用色素的完整性也受限制(Colom and Vazzana, 2003)。

作物對於乾旱逆境有防禦系統，包括葉片捲曲及氣孔關閉以減少水分散失，加速根部生長以獲得更多土壤水分，或者是葉片細胞內的滲透調節(朱，2002)，以避免其他逆境的產生。至於品種間不同耐旱程度，往往取決於品種之代謝速度及不同防旱機制間速率的協調。本文針對乾旱時光氧化現象及其防禦機制作介紹。作物缺水時，光合作用下降主要是氣孔關閉所致，而 CO_2 同化的限制使電子傳送反應受阻，有過多還原力造成活化氧族(active oxygen species；AOS)的產生，導致光氧化及光抑制的傷害(圖 1)。AOS 主要代謝區域及作用在膜傷害和脂質過氧化。植物有複雜的抗氧化系統以對抗 AOS(Smirnoff, 1995)。包括三種方式，(i)可溶性脂質：膜相關抗氧化物(e.g. α-tocopherol，β-carotene)；(ii)小型水溶性抗氧化分子(e.g. ascorbate，glutathione)；(iii)酵素性抗氧化物，包括 superoxide dismutases (SOD)。SOD 可將過氧化物轉化爲毒性較低之 H_2O_2，再由 catalase，guaiacol type peroxidase 及 ascorbate－glutathione cycle(e.g. ascorbate peroxidase)去除 H_2O_2 之毒性。對乾旱具有抗性之品種或基因型可增加抗氧化系統的表現，並降低氧化傷害(Smirnoff, 1995)，其中 SOD 酵素活性

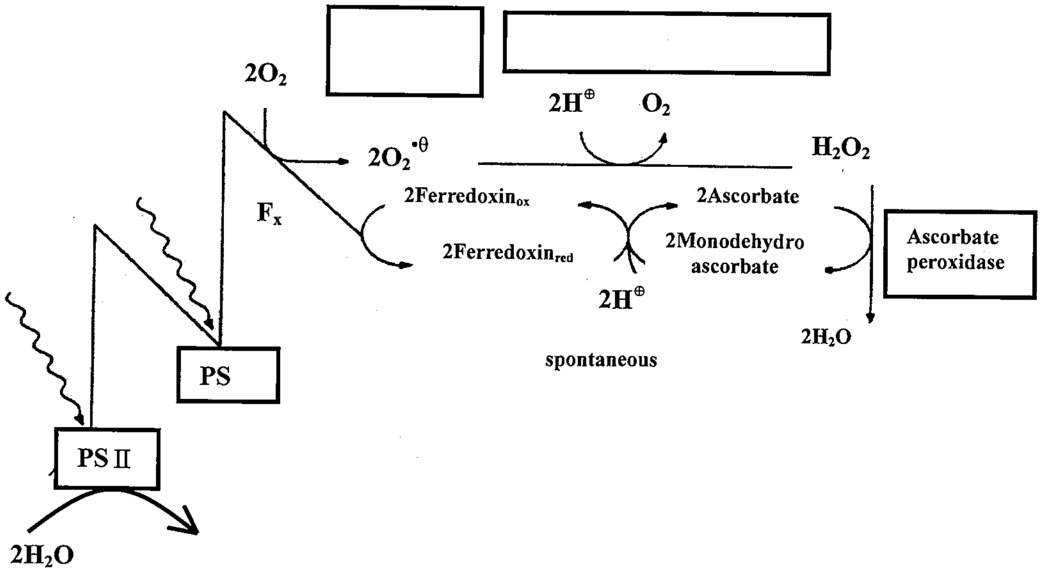


圖 1. 作物乾旱逆境之光氧化反應。

對缺水特別敏感，尤其是抗旱品種，所以較高 SOD 活性是評估氧化逆境保護的量化基礎 (Asada, 1999)。另外利用轉殖植物 overexpressing SOD 可增加對抗氧化逆境之耐性(Foyer *et al.,* 1994)。但有些 SOD 活性在抗旱反應並不相同，無法有一致反應的原因可能是品種或基因型、生長狀態、逆境時間、株齡和逆境強度(Martinez *et al.,* 2001)。此外，SOD 避免光氧化傷害需要迅速去除 H_2O_2，以避免產生毒性更強之氫氧根自由基，但這過程需要其他代謝系統(包括 catalase 和 ascorbate peroxidase 酵素活性)相配合，僅增加 SOD 活性並無法提供抗氧化逆境的保護(Pritcher *et al.,* 1991)。

七、田間水資源評估之研究

我國水稻種植由移植或直播後會維持湛水 5-10 公分的水深，至整個生育期結束。雖然整田時需水量理論約爲 150-200 mm，但如果持續時間過長，則可能高達 350-1500 mm(Ghani *et al.,*1989)。Cabangon and Tuong(1999)認爲整田前的土壤若爲乾燥或龜裂之黏土，滲漏量爲 25 mm d^{-1}，但如果在淹滿水且耕犁後，犁底層形成，且上層土壤呈黏糊狀，則相同土壤之滲漏量降爲 5 mm d^{-1}，這說明整田時間越久則需水量越大。水稻生育期間的需水量由 500 至 800 mm 間，最高超過 3000 mm(Hukkeri and Shama, 1980)，這包括土壤蒸發、葉片蒸散、滲漏和滲流。水田之蒸發及蒸散一般並不加以區分，以蒸發散(evapotranspiration；ET)統稱。水稻在移植 3 周內，土壤蒸發量大約佔 ET 值的 85 %，之後因葉面積增大的遮蔭效應，蒸發值下降，移植後 40 天下降至 ET 值之 20 %。而當整個植被形成(葉面積指數約 3.0)，蒸發值僅佔 10 %，整個水稻生育期之蒸發值約佔 30 %。ET 值也受氣象條件影響，在溫帶及亞熱帶(如中國)，由生育初期(5 月)的 2-3 mm d^{-1}，到 7 月至 10 月間之 7-8 mm d^{-1}，生育期平均約爲 4-5 mm d^{-1}(Zhi, 1992)；熱帶地區 ET 值約爲 4-12 mm d^{-1} 之間，生育期平均爲 6-7 mm d^{-1}。生育期所用水量之 50-80 % 是以滲漏和滲流所消耗(Sharma, 1990)。滲漏指水由垂直方向往土壤底層流入(圖 2)，屬於整個區域；滲流是橫向由田埂滲出，屬於田區周圍部份。滲漏受土壤質地和其他因素影響，土壤鬆軟時，滲漏量提高，水田黏土約爲 1-5 mm d^{-1}，砂壤土可高達 24-29 mm d^{-1}(Khan, 1992)。

我國水稻生產過程中，究竟一塊田區在水稻生育期間需要多少水？這個問題到目前爲止仍沒有答案，過去研究都以模式估算，例如利用作物微氣象變化或氣候資料相關關係式來估算作物需水量，但大多以旱作物爲主。陳及甘(1997)利用氣候資料針對我國十個主要地區進行水稻需水量的估算工作，但所用 Penman-Monteith 估算法仍是以旱田作物所發展出來的模式，加上並沒有田間實測值，因此無法驗證。在探討水田需水量前應先瞭解消耗量，水稻田和旱田最大區別處在於田間湛水狀態，在水稻生育初期，水面湛水的蒸發現象佔整體蒸發散量大部份，但隨著植株生長，葉面積增大，整個群落(Canopy)覆蓋地表，此時水分的消耗以葉片蒸散作用爲主。由於蒸發和蒸散在估算上並不相同，因此，水稻生育過程中葉片蒸散及地表蒸發應加以區分，並且量化所消耗的水汽量，這樣對水稻田需水量才能有精確的估算。

蒸發散量測方法很多(申，2002)，包括土壤水分平衡法、設置稱重型滲透計(lysimeter)、測定植物含水勢能，或是由氣象因子代入模式估算等，上述方法都有其在使用上的限制，不是無法直接觀測就是不可任意移動。目前本所所建立之渦流相關系統(eddy

correlation system)可以適當地克服上述限制，能精確量測瞬時蒸發散量。渦流相關系統主要是量測垂直風速及絕對濕度，並因統計學上擾動值即爲標準偏差，因此蒸發散量即等於垂直風速與絕對濕度的互變異數(covariance)。由於該系統建立在簡單基本的理論基礎上，不需要配合其他地表自然因子(如地表粗糙度)和大氣因子(如大氣穩定度)，是作爲蒸發散量實測値及模式驗證的基本資料。

八、結語

第 3 屆世界水論壇會議(The 3rd World Water Forum)於今年(2003 年)3 月在日本舉行，會中曾討論所謂虛擬水(virtual water)的觀念，這是由英國倫敦大學 J. Anthony Allen 教授在 1998 年提出的觀念，他認爲中東地區的糾紛主要來自於對水資源的爭奪，由於農業用水佔可用水資源的大部份，若能以進口農產品取代農業生產以節省農業用水，將所餘的水資源用於工業或民生方面，則可消弭戰爭發生的可能。以經濟觀點而言，生產一噸小麥需耗用一千噸水；一噸稻米更需要四千噸的水資源，透過貿易行爲以調控水資源似乎是値得思考的方向。但水資源的定位並非僅限於經濟領域，從國防、農業、生態及生活等，皆可由不同領域定義農田在水資源的重要性。我國降水所帶來的水資源雖然豐沛，但由於過度集中反而造成水災，逕流量過大集水不易，且對土壤表層嚴重沖刷造成土石流，影響居民生命及財產安全。冬季又屬旱季，一期作整田耕犁時常有缺水問題，所以就我國現況而言，水資源是"不患寡而患不均"，如何有效及精準調控水資源的利用是非常重要的課題。近年來所提倡之水稻田深水灌溉即著眼於調控夏季豪雨的水資源，而節水措施爲一期作初期缺水的對策，但不論是深水或節水栽培實行的前提是需要對水稻田的耗水分配及需水量有確切數據，包括水稻田蒸發、葉片蒸散、田間滲漏及滲流等，皆需要有實測數據及模式化之水分利用系統。目前農業試驗所農工組已從事水田水資源量測及對水稻生育影響的工作，利用水田能量平衡直接量測水稻生育期間之潛熱變化，可得到每日之蒸發散量，並配合水錶及水位計的量測，確切掌握田區內水量消耗情形，並擬開發水分利用評估模式，由氣象資料、土壤特性、水稻生育階段建立需水量模式，以供各項水資源管理策略的依據。

九、引用文獻

申雍。2002。田間蒸發散量之估測與應用。p 85-96。農業氣象及農業水資源之應用與管理研討會專輯。楊純明、林富雄、林俊義，主編。中華農業氣象學會/行政院農業委員會農業試驗所出版，臺中縣。

朱德民。2002。作物耐旱原動力—滲透調節物。p.97-104。農業氣象及農業水資源之應用與管理研討會專輯。楊純明、林富雄、林俊義，主編。中華農業氣象學會/行政院農業委員會農業試驗所出版，臺中縣。

陳清田、甘俊二。1997。台灣地域性作物需水量之推估研究。農業工程學報 43：1-18。

童慶斌。1997。氣候變遷對大甲溪上游河川流量之衝擊。台灣水利季刊 45：64-70。

經濟部水資源局。2001。臺灣地區民國八十八年各標的用水量統計報告，臺北市。

Asada, K. 1999. The water-water cycle in chloroplasts：Scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 50：601-639.

Baroli, I. and A. Melis. 1998. Photoinhibitory

damage is modulated by rate of photosynthesis and by photo-system II light－harvesting chlorophyll antenna size. Planta 205：288-296.

Bhuiyan, S.I., M.A. Sattar and M.A.K. Khan. 1995. Improving water use efficiency in rice irrigation through wet seeding. Irri. Sci. 16：1-8.

Bouman, B.A.M. and T.P. Tuong. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. Agric. Water Manag. 49:11-30.

Cabangon, R.J. and T.P. Tuong. 2000. Management of cracked soils for water saving during land preparation for rice cultivation. Soil and Tillage Res. 56:105-116.

Cheng, W., G. Zhang, G. Zhao, H. Yao and H. Xu. 2003. Variation in rice quality of different cultivars and grain positions as affected by water management. Field Crops Res. 80：245-252.

Colom, M.R. and C. Vazzana. 2003. Photosynthesis and PS II functionally of drought－resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. Environ. Exp. Bot. 49：135-144.

Cornic, G. and J.M. Briantais. 1991. Partitioning of photosynthetic electron flow between CO_2 and O_2 in a C_3 leaf(*Phaseolas vulgaris L.*)at different CO_2 concentrations and during drought stress. Planta 183：178-184.

Cruz, R.T. and J.C. O'Toole, 1984. Dry land rice response to an irrigation gradient at flowering stage. Agron. J. 76：178-183.

Deju, Z. and L. Jingwen. 1993. The water use efficiency of winter wheat and maize on a salt-affected soil in the Huang Huai river plain of China. Agri. Water Manag. 23：67-82.

Foyer, C.H., M. Lelandais and K.J. Kunert. 1994. Photooxidative stress in plants. Physiol. Plant 92：698-717.

Fukai, S., L. Li., P.T. Vizmonte and K.S. Fischer. 1991. Control of grain yield by sink capacity and assimilate supply in various rice(*Oryza sativa*)cultivars. Exp. Agric. 27：127-135.

Ghani, M., S.I. Bhuiyan and R.W. Hill. 1989. Gravity irrigation management in Bangladesh. J. of Irrigation and Drainage Engineering 115：642-655.

Howell, T.A. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. Agron. J. 93：281-289.

Hukkeri, S.B. and A.K. Sharma. 1980. Water use efficiency of transplanted and direct-sown rice under different water management practices. Indian J. Agric. Sci. 50：240-243.

IPCC, 2001. Climate Change 2001. p.191-233. Report of the International Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

Kaiser, W.M. 1987. Effects of water deficit on photosynthetic capacity. Physiol. Plant 71：142-149.

Khan, L.R. 1992. Water management issues for paddy fields in the low-lying areas of Bangladesh. In Soil and Water Engineering for Paddy Field Management. p.339-345. *In:* Proceedings of the International

Workshop on Soil and Water Engineering for Paddy Field Management. eds V. V. N. Murty and K. Koga, Bongkok, Thailand.

Khepar, S.D., S.K. Sondi, S. Kumar and K. Singh. 1997. Modelling effects of cultural practices on water use in paddy fields－a case study. Research Bulletin, Publication No. NP/SWE-1. : Punjab Agricultural University, Ludhiana, India.

Kitamura, Y. 1990. Management of an irrigation system for double cropping culture in the tropical monsoon area. Technical Bulletin 27. Tropical Agriculture Research Center, Ministry of Agriculture Forestry and Fisheries, Tsukuba, Japan.

Kobata, T. and S. Takami. 1983. Grain production and dry matter partitioning in rice(*Oryza sativa L.*) in response to water deficits during the whole grain-filling period. Jpn. J. Crop Sci. 53：283-290.

Lafitte, R. 2002 . Relationship between leaf relative water content during reproductive stage water deficit and grain formation in rice. Field Crops Res. 76：165-174.

Mao Zhi. 1992. Calculation of evapotranspiration of rice in China. In Soil and Water Engineering for Paddy Field Management. p.21-31. *In:* Proceedings of the International Workshop on Soil and Water Engineering for Paddy Field Management. eds. V. V. N. Murty and K. Koga, Bangkok, Thailand.

Martinez, C.A., M.E. Loureiro, M.A. Oliva and M. Maestri. 2001. Differential responses of superoxide dismutase in freezing resistant *Solanum curtilobum* and freezing sensitive *Solanum tuberosum* subjected to oxidative and water stress. Plant Sci. 160：505-515.

Mishra, H.S., T.R. Rathore and R.C. Pant. 1990. Effect of intermittent irrigation on groundwater table contribution, irrigation requirement and yield of rice in Mollisols of the Tarai region. Agric. Water Manag. 18：231-241.

O'Toole, J.C. and T.T. Chang. 1979. Drought resistance in cereals-rice：A case study. In Physiology of Crop Plants. ed. H. Mussell and R.C. Staples. Wiley, New York, pp. 374-405.

Park, Y.I., W.S. Chow, C.B. Osmond and J.M. Anderson. 1996. Electron transport to oxygen mitigates against the photoinactivation of photosystem II *in vivo*. Photosynth. Res. 50：23-32.

Peng, S., R.C. Laza, R.M. Visperas, A.L. Sanico, K.G. Cassman and G.S. Khush. 2000. Grain yield of rice cultivars and lines developed in the Philippines since 1966. Crop Sci. 40：307-314.

Powles, S. 1984. Photoinhibition of photosynthesis induced by visible light.' Annu. Rev. Plant Physiol. 35：15-44.

Pritcher, L.H., E. Brennan, A. Hurley, P. Dunsmuir, J.M. Tepperman and B.A. Zilinskas. 1991. Overproduction of petunia copper / zinc superoxide dismutase does not confer ozone tolerance in transgenic tobacco. Plant Physiol. 97：452-455.

Revelle, R. 1963. Water. Scientific American 209：92-109.

Sandhu, B.S., K.L. Khera, S.S. Prihar and B. Singh. 1980. Irrigation need and yield of rice on a sandy－loam soil as effected by continuous and intermittent submergence.

Indian J. of Agri. Sci. 50：492-496.

Sharma, D.K., A. Kumar and K.N. Singh. 1990. Effect of irrigation scheduling on growth, yield and evapotranspiration of wheat in sodic soils. Agric. Water Manag. 18：267-276.

Sharma, P.K. 1989. Effect of periodic moisture stress on water use efficiency in wetland rice. Oryza 26：252-257.

Smirnoff, N. 1995. Antioxidant systems and plant response to the environment. p.217-243. *In*： Smirnoff, N.(Ed.), Environment and Plant Metabolism-Flexibility and Acclimation. BIOS Scientific Publishers, Oxford.

Stegman, E.C. 1982. Corn grain yield as influenced by timing of evapotranspiration deficits. Irri. Sci. 3：75-87.

Stockle, C.O., L.G. James, D.L. Bassett and K.E. Saxton. 1990. Effect of evapotranspiration under prediction on irrigation scheduling and yield of corn：a simulation study. Agric. Water Manag. 19：167-179.

Tanner, C.B. and T.R. Sinclair. 1983. Efficient water use in crop production：research or re-search. p.1-27. *In:* Limitations to Efficient Water Use in Crop Production. H.M. Taylor, W.R. Jordan and T.R. Sinclair, eds. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.

Tourneux, C. and G. Peltier. 1995. Effect of water deficit on photosynthetic oxygen exchange measured using $^{18}O_2$ and mass spectrometry in *Solanum tuberosum L.* leaf discs. Planta 195：570-577

Turner, N.C. 1997. Further progress in crop water relations. Adv. Agron. 58：293-338.

Viets, F.G. 1962. Fertilizer and efficient use of water. Adv. Agron.14：223-264.

Wallace, J.S. and C.H. Batchelor. 1997. Managing water resources for crop production. Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B 352：937-947.

Wopereis, M.C.S., M.J. Kropff, A.R. Maligaya and T.P. Tuong. 1996. Drought-stress responses of two lowland rice cultivars to soil water status. Field Crops Res. 46：21-39.

Yang, J., J. Zhang, Z. Wang, Q. Zhu and W. Wang. 2001. Remobilization of carbon reserve in response to water deficit during grain filling of rice. Field Crops Res. 71:47-55.

Study of Water Resource and Water Use Efficiency in Paddy Field

Ming Hwi Yao* and Kung Shy Chi
Division of Agricultural Engineering, Agricultural Research Institute, COA, Taichung Hsien, Taiwan, ROC
E-mail：mhyao@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

The average rainfall in Taiwan is about 2,500 mm. When compared with the whole world rainfall standard, Taiwan is belonged to abundant rainfall area. However, the rainfall distribution in Taiwan is disproportionate and the landform is high and precipitous. It will be nearly 85 percent of runoff flowing into the sea directly. For this reason, how to use water resource effectively in order to satisfy water requirement on each purpose is an important issue. Rice (*Oryza sativa L.*) is the most widely grown and produced crop in Taiwan, but it is also the greatest consumer of water among all crops. In the present time, efforts must be made to develop new water management systems aimed at reducing irrigated water input and increasing water use efficiency in rice production in Taiwan. When comparing the water use efficiency (WUE) among rice and other crops in field during the growth period, data show that the WUE of rice is about 0.3-0.7 g kg^{-1}, while it is 0.8-1.6 g kg^{-1} for wheat and 1.6-3.9 g kg^{-1} for corn. There are higher seepage and percolation in paddy field during rice growth. Those non-beneficial depletions and outflows are due to maintaining the flooded water layer on the soil surface during crop growth and land preparing stage in traditional rice cultivation. When rice grown under drought conditions during soil water deficit, the photosynthesis decreases due mainly to stomatal closure. The limitation of CO_2 assimilation will cause the inactivation of electron transfer reaction, an excess of reducing power is frequently generated in water-stressed plants. The over-reduction of photosynthetic electron chain may result in the formation of active oxygen species (AOS) that can lead to photoinhibitory and photooxidative damages. Plants are endowed with a complex antioxidant system to cope with AOS. Among different drought-tolerant varieties or genotypes, to increase the expression of antioxidant system is associated to decrease oxidative damages.

Key words：Rice, Water resource, Water use efficiency, Drought tolerance, Fluorescence.

名詞索引

Amaranth 151
Amaranthus mangostanus 81-85, 87-89, 94
Anthocorid bug (*Orius strigicollis*) 10
Athel tamarisk windbreak 109, 110, 112.
Beech saturniid caterpillar (*Quadricalcarifera punctella*) 10
Caterpillar vegetable worm (*Cordyceps militaris*) 10
Characteristic spectrum 64.
Chilling injury 143
Cold damage 101
Crop inundant damage 78
Cucumber 108, 110, 112
Damage rate 48
Desert migratory locust (*Schistocerca gregaria*) 10
Disease monitoring and analysis 33
Drought 116, 117, 118, 126
Drought 64
Drought tolerance 179
Fallen fruit 143
Fluorescence. 179.
Foehn 120, 121, 123, 126
Grafted-pear 101.
Gypsy moth (*Lymantria dispar*) 10
Helicopter-mounted image system 78
Horticultural crops 48
Indication 48
Induced chemical reaction 10
Lady beetle (*Coccinella septempunctata*) 10
Loofah 108, 109, 110, 112
Low temperature 56
Meteorological disaster 56
Meteorological factor 27, 33
Meteorological investigation 56
Micro-climate 10
Microphantid spider(*Oedothorax* spp.) 10
Multispectral imagery 78
Natural disasters 48
Non-heading chinese cabbage 151
Oriental pickling melon 108, 109, 112
Oryza sativa L. 58, 64
Penhu area 112
Plant Disease Epidemics 33
Preying mantis (*Tenodera acridifolia*) 10
Production monitoring 92
Protection method 124
Protection techniques 101
Reconversion 48.
Remote sensing model 64.
Rice 62, 63, 64, 162, 163, 164-166, 171, 176, 177, 178, 179
Rice quality 166
Soil 156, 157, 162-166
Soil moisture regime 156, 162, 166
Spectral remote sensing 81, 92
Tea tree 118, 119, 123, 126
Tobacco cutworm(*Spodoptera litura*) 10
Typhoon 151
Water resource 178, 179
Water use efficiency 176, 179
Water-logging status 92
Wax-apple 137, 138, 143

Yield 162, 163, 166
Yield estimation 64
七星瓢蟲 7
土壤 153-163
土壤水分境況 153, 154, 156, 157, 159, 160, 162
大螳螂 2，4
小白菜 146-150
小胡瓜 104, 105, 109
小盤蛛 2，5，6
山毛櫸天社蛾 2, 4, 5
天然災害 36, 40, 42, 45, 46
水分利用效率 167, 168, 170, 17
水資源 167-170, 175, 179
水稻 57-60, 153-163, 167, 168, 170-175
生產監測 80
光譜遙測技術 80, 81, 86
多光譜影像 66, 68
作物淹水災害 65, 66
低溫 50, 51, 54
沙漠飛蝗 2, 3
防護方法 113, 114
防護措施 93, 94, 98, 99
直昇機載攝像系統 66
品質 128-132
指標 36
耐旱性 167, 168, 172
氣象因素 12, 13, 19, 20, 26, 27
氣象災害 50, 51, 55
氣象調查 50
特徵光譜 58, 61
病害監測與分析 12
茶樹 113-119, 121, 122, 124, 125
乾旱 113-116, 118, 119, 121, 124, 125
乾旱逆境 58, 59, 60,64
寄接梨 93, 94, 98, 99
斜紋夜盜 2，5，6
條肩花椿象 7
淹水狀態 86-89
產量 154, 159, 160, 161
產量推估 58, 61
莧菜 80-83, 85-89, 146-150
寒霜害 93-99 127-131, 135-142
復育 41, 42, 44, 45
植物病害流行 12, 18, 19, 27
焚風 114-116, 118, 119, 121, 124, 125
越瓜 104, 105, 108
園藝作物 36, 37,38, 45, 46
微氣候 2，7
損害率 36, 37, 38, 40, 45, 46
稜角絲瓜 104, 105, 108
落果 136-140
蛹寄生菌 2，5
舞蛾 6
誘導性化學反應 2，5
遙測模式 59, 61.
颱風 145, 146-150.
澎湖地區 103-108, 110, 111.
稻米品質 154, 160-162.
蓮霧 128-132.
蓮霧 135-142.
螢光 168, 172.
檉柳防風林 103-108, 110, 111.

農業氣象災害調查與防護技術

ISBN 957-99870-7-6

9 789579 987073

定價：新臺幣400元